АВИАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

СПРАВОЧНИК

6

МОСКВА—1974—ОНТИ

АВИАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ 6

Авиационные Материалы

Справочник

6

МОСКВА 1974 ОНТИ

Авиационные Материалы

6


ОНТИ
1974

МИНИСТЕРСТВО АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР

АВИАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

СПРАВОЧНИК В ДЕВЯТИ ТОМАХ

(ИЗДАНИЕ 6-е, ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ)

Под общей редакцией
Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР
чл.-корр. АН СССР
А. Т. ТУМАНОВА

МОСКВА

ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Для служебного пользования

АВИАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Том 6

МЕДНЫЕ СПЛАВЫ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ТРЕНИЯ, ПРИПОИ

Научные редакторы тома
канд. техн. наук *А. И. Губин*,
канд. техн. наук *О. Е. Кестнер*,
докт. техн. наук *С. И. Кишкина*

ОНТИ — 1974

УДК [669.35+621.791.35]:629.7

В шестом томе справочника приведены основные характеристики медных сплавов и специальных материалов для деталей трения, а также припоев для пайки металлических материалов.

Указаны механические свойства при комнатной, высоких и низких температурах, физические свойства, коррозионная стойкость, технологические особенности и области применения материалов.

Справочник предназначен для инженерно-технических и научных работников ОКБ, заводов и научно-исследовательских институтов.

Редактор тома *М. С. Лаговская*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Справочник содержит данные о механических свойствах при растяжении, сжатии, кручении, срезе, сопротивлении ползучести, пределах длительной прочности и выносливости сплавов на основе меди, а также характеристики припоев для пайки металлических материалов. Наряду с механическими свойствами приводятся данные о физических свойствах, коррозионной стойкости и технологических особенностях материалов.

В период после выхода в свет предыдущего издания справочника разработан ряд новых материалов на основе меди, а также новые припои. К новым сплавам относятся износостойкая бронза ВБр5, сплавы ВЖЛ2 и ВЖЛ15 для работающих при высоких температурах деталей трения, антифрикционные металлокерамики АМК-4 и АМК-5, фрикционные металлокерамики ФМК-79 и МКВ-50 для колесных тормозов самолетов, материалы для радиальных уплотнений, антифрикционное покрытие ВАП-3 и др.

В справочник включены также разработанные в последние годы припои ВПр1, ВПр4, ВПр6, ВПр9, ВПр13 для пайки различных сталей и сплавов, которые получили широкое распространение в промышленности. Для всех материалов приводятся минимальные свойства, гарантируемые ГОСТами и ОСТами, и типичные свойства, определенные в процессе специальных исследований и обработки статистических данных заводов.

Шестой том справочника подготовлен следующим коллективом авторов: Аксенова И. П., Антонова Г. С., Бабурина Е. В., Белова А. В., Белова Е. В., Бодрова Р. С., Буртаков С. В., Винокуров В. И., Вовк М. П., Горбунов А. Н., Губин А. И., Качановская Л. Т., Кестнер О. Е., Кокошвили А. Н., Леонова Л. Н., Матюшенко Р. С., Михеева О. Н., Мигунов В. П., Орлова В. В., Свиридова М. Ф., Чатынян Л. А.

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Свойства	Обозначение	Единица измерения	Перевод в единицы СИ
Модуль нормальной упругости при растяжении, определенный статическим методом	E	*кгс/мм*²	
Модуль нормальной упругости при сжатии, определенный статическим методом	$E_{сж}$	*кгс/мм*²	
Модуль нормальной упругости, определенный динамическим методом	$E_{д}$	*кгс/мм*²	1 *кгс/мм*² ≈ 9,8 · 10⁶ *н/м*²
Номинальный модуль упругости при смятии *	$E_{см}$	*кгс/мм*²	
Модуль касательной упругости (модуль сдвига)	G	*кгс/мм*²	
Коэффициент Пуассона	μ	—	
Предел пропорциональности при растяжении	$\sigma_{пц}$	*кгс/мм*²	
Предел текучести условный при растяжении (остаточная деформация 0,2%)	$\sigma_{0,2}$	*кгс/мм*²	
Предел прочности при растяжении	$\sigma_{в}$	*кгс/мм*²	1 *кгс/мм*² ≈ 9,8 · 10⁶ *н/м*²
Предел прочности при растяжении образца с надрезом **	$\sigma_{в}^{н}$	*кгс/мм*²	
Предел упругости	$\sigma_{е}$	*кгс/мм*²	

* Для образцов с отношением $b/d=4$, где b — ширина образца; d — диаметр сминаемого отверстия.

** Надрез кольцевой полукруглый радиусом 0,75 *мм*.

Продолжение

Свойства	Обозначение	Единица измерения	Перевод в единицы СИ
Предел прочности при растяжении при температуре t *	$\sigma_{в}^{t}$	*кгс/мм*²	
Предел пропорциональности при сжатии **	$\sigma_{пц\ сж}$	*кгс/мм*²	
Предел текучести условный при сжатии (остаточная деформация 0,2%)	$\sigma_{0,2\ сж}$	*кгс/мм*²	
Предел прочности при сжатии ***	$\sigma_{в\ сж}$	*кгс/мм*²	
Предел пропорциональности при смятии ****	$\sigma_{пц\ см}$	*кгс/мм*²	
Предел текучести условный при смятии **** (остаточная деформация 0,2%)	$\sigma_{0,2\ см}$	*кгс/мм*²	1 *кгс/мм*² ≈ 9,8 · 10⁶ *н/м*²
Предел прочности при смятии ****	$\sigma_{в\ см}$	*кгс/мм*²	
Максимальное напряжение при испытании на малоцикловую усталость асимметричным растяжением	σ_{max}	*кгс/мм*²	
Минимальное напряжение при испытании на малоцикловую усталость асимметричным растяжением	σ_{min}	*кгс/мм*²	
Критическое напряжение при потере общей устойчивости	$\sigma_{кр}$	*кгс/мм*²	

* Если нет оговорки, то предел прочности при высоких температурах определяется после 30-минутной выдержки при заданной температуре.

** Для образцов с отношением $h/d=3$ ($d=20$ *мм*).

*** Для образцов с отношением $h/d=1,5$ ($d=15$ *мм*).

**** Для образцов с отношением $b/d=4$, где b — ширина образца, d — диаметр сминаемого отверстия.

Продолжение

Свойства	Обозначение	Единица измерения	Перевод в единицы СИ
Предел пропорциональности при кручении *	$\tau_{пц}$	*кгс/мм*²	
Предел текучести условный при кручении * (остаточная деформация сдвига 0,3%)	$\tau_{0,3}$	*кгс/мм*²	
Предел прочности при кручении **	$\tau_в$	*кгс/мм*²	1 *кгс/мм*² ≈ 9,8 · 10⁶ *н/м*²
Сопротивление срезу	$\tau_{ср}$	*кгс/мм*²	
Сопротивление разрушению при растяжении	$S_к$	*кгс/мм*²	
Сопротивление разрушению при сжатии ***	$S_{к\ сж}$	*кгс/мм*²	
Относительное удлинение после разрыва:			
на длине $l=5d$, $l=10d$	δ_5; δ_{10}	%	—
на длине $l=5{,}65\sqrt{F}$;	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$	%	—
$l=11{,}3\sqrt{F}$	$\delta_{11,3\sqrt{F}}$	%	—
Относительное укорочение при сжатии	Δ	%	—
Относительное сужение после разрыва	ψ	%	—
Равномерное сужение	$\psi_в$	%	—

* $\tau_{пц}$ и $\tau_{0,3}$ определяются по формулам:

$$\tau_{пц}=\frac{M_{пц}}{\frac{\pi d^3}{16}};\quad \tau_{0,3}=\frac{M_{0,3}}{\frac{\pi d^3}{16}}.$$

** $\tau_в$ определяется по формуле $\tau_в=\dfrac{M_{max}}{\frac{\pi d^3}{16}}$.

*** Определяется на образцах с отношением $h/d=1{,}5$ ($d=15$ *мм*).

Продолжение

Свойства	Обозначение	Единица измерения	Перевод в единицы СИ
Истинное сужение или укорочение	e	%	—
Относительный сдвиг при кручении	γ_{max}	%	—
Угол закручивания при разрушении (на длине 100 *мм*)	φ	градус	—
Гибкость *	λ	—	—
Твердость по Роквеллу при вдавливании шарика $d=1{,}588$ *мм* (¹/₁₆ *дюйма*) под нагрузкой 100 *кг*	*HRB*	—	—
Твердость по Роквеллу при вдавливании алмазного конуса с углом при вершине 136° под нагрузкой 150 *кг*	*HRC*	—	—
Твердость по Бринелю (шарик $d=10$ *мм*, нагрузка P для мягких алюминиевых и магниевых сплавов 500 *кг*, для прочных алюминиевых и магниевых сплавов 1000 *кг*, для титановых сплавов 3000 *кг*)	*HB*	*кгс/мм*²	1 *кгс/мм*² ≈ 9,8 · 10⁶ *н/м*²
Твердость по Виккерсу	*HV*	*кгс/мм*²	
Удельная ударная вязкость при изгибе образца размером 10×10×55 *мм* с полукруглым надрезом глубиной 2 *мм* и радиусом 1 *мм*	$a_н$	*кгс · м/см*²	1 *кгс · м/см*² ≈ 9,8 · 10⁴ *дж/м*²
Число циклов до разрушения образца при испытании на малоцикловую усталость	N	цикл	—
Предел выносливости при изгибе при симметричном цикле	σ_{-1}	*кгс/мм*²	1 *кгс/мм*² ≈ 9,8 · 10⁶ *н/м*²

* $\lambda=\dfrac{l}{i}$, где l — длина образца в *см*; i — радиус инерции в *см*.

Продолжение

Свойства	Обозначение	Единица измерения	Перевод в единицы СИ
Предел выносливости при кручении	τ_{-1}	*кгс/мм²*	1 *кгс/мм²* ≈ 9,8 · 10⁶ *н/м²*
Предел ползучести при высоких температурах (напряжение, вызывающее деформацию 0,2% за 100 *час*)	$\sigma_{0,2/100}$	*кгс/мм²*	
Предел длительной прочности при высоких температурах (напряжение, при котором образец разрушается за 100, 300 *час* и т. д.)	σ_{100}; σ_{300}	*кгс/мм²*	
Теоретический коэффициент концентрации напряжений	$\alpha_к$	—	—
Плотность	d	*кг/м³*	
Коэффициент термического линейного расширения	α	1/*град*	
Удельная теплоемкость	c	*кдж/кг · град*	
Коэффициент теплопроводности	λ	*вт/м · град*	
Удельное электросопротивление	ρ	*ом · см*	
Удельная электропроводность (в процентах от электропроводности меди)	K	%	—

Глава I

МЕДНЫЕ СПЛАВЫ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ТРЕНИЯ

Медь и сплавы на ее основе являются электропроводными и коррозионностойкими материалами. Они отличаются высоким сопротивлением износу и низким коэффициентом трения. Высокие пластические свойства меди и ряда ее сплавов позволяют получать полуфабрикаты в виде прутков, ленты, листов, труб и проволоки. Детали из меди можно изготовлять штамповкой и глубокой вытяжкой из листа. Хорошие литейные свойства бронз и латуней дают возможность получать способом точного литья сложные фасонные детали с высокими механическими свойствами. Сплавы, содержащие значительное количество никеля, а также медноникелевые (до 20% Ni), обладают повышенной химической стойкостью.

Приводимые в данной главе сплавы, так же как и в предыдущем (пятом) издании справочника, объединены по признаку их основного назначения в пять групп: конструкционные сплавы, жаропрочные сплавы, сплавы для упругих элементов, антифрикционные сплавы, специальные материалы для деталей трения. К последней группе относятся материалы, применяемые в специальных узлах трения двигателей, самолетов и новых летательных аппаратов.

В настоящей главе, в графе «состояние материала», приводятся следующие характеристики: «твердый, полутвердый или мягкий». Эта терминология принята в специальной литературе по медным сплавам. Твердое состояние — сплав обработан давлением с высокими степенями деформации, полутвердое — обработка со средними степенями деформации, мягкое — после обработки давлением сплав подвергнут отжигу.

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МЕДНЫЕ СПЛАВЫ

Для изготовления деталей различного назначения, требующих повышенной коррозионной стойкости, специальных физических свойств и высокой технологичности, применяются медь, простые и

специальные латуни, оловянистые и безоловянистые бронзы, а также медные сплавы, содержащие значительное количество никеля. Все эти материалы обладают высокой технологичностью: они легко обрабатываются резанием, хорошо свариваются и паяются.

Медь хорошо паяется, легко смачиваясь припоями; тонкая пленка окислов удаляется чистой канифолью. Латуни паяются несколько хуже. Для удаления окислов цинка требуются более активные флюсы, чем для удаления окислов меди. Способы пайки латуней те же, что и для меди. Применяемые припои и способы пайки приводятся в главе 2.

При пайке латуни погружением в расплавленный припой содержащийся в основном металле цинк загрязняет ванну. Кроме того, при контакте с жидким легкоплавким припоем, богатым оловом, латуни склонны к хрупкому разрушению. Поэтому пайку латуней рекомендуется производить только в отожженном состоянии без приложения внешних растягивающих напряжений.

Пайка латуни в печи рекомендуется только в том случае, если она предварительно покрыта гальваническим способом медью (слой толщиной 15—20 *мкм*), замедляющей испарение цинка.

Алюминиевые бронзы удовлетворительно паяются серебряными припоями в смеси флюсов: 50% 209+50% 34А при нагреве ацетиленокислородным пламенем, в печи, при нагреве ТВЧ и др.

Медь сваривается всеми способами сварки плавлением с применением преимущественно стыковых соединений. Сварка деталей средних и больших толщин выполняется с подогревом.

Электронно-лучевая сварка обеспечивает вакуумноплотные и пластичные соединения с прочностью 0,9 прочности основного отожженного металла.

Газоэлектрическую сварку производят неплавящимся или плавящимся электродом с использованием защитных газов — аргона, гелия, азота, водорода или их смеси. Наиболее качественные соединения получают при сварке в среде гелия.

Дуговую сварку под флюсом выполняют угольным или металлическим плавящимся электродом. Применяют стандартные плавленые флюсы (марок АН-5, АН-10, АН-348А и др.), разработанные для сварки углеродистых и легированных сталей. Присадочным металлом служит медь с добавками фосфора, олова или кремния (ОФ9—0,3). Ручную дуговую сварку плавящимся электродом выполняют медными электродами с покрытиями 3т, «Комсомолец-100», ММЗ-1, ММЗ-2.

При газовой сварке применяют флюсы, содержащие буру или борную кислоту. Для присадки используют медную проволоку с содержанием фосфора и кремния.

Точечная и роликовая сварка меди затруднительна вследствие ее высокой тепло- и электропроводности. Медь сваривается контактной стыковой сваркой методом сопротивления.

Механические свойства сварных соединений меди приведены в табл. 1.

Таблица 1

Механические свойства соединений меди

Вид сварки	Температура испытания °С	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ %	$a_н$ кгс · м/см²	Угол изгиба α град
Дуговая с электродами «Комсомолец-100»	20	20—22	18—20	6—8	180
Газовая с присадкой электролитической меди	20	18,5	—	—	150
Дуговая под слоем флюса с присадкой М1	20	17,5—18	35—41	—	—
	—70	21—21,5	44—46		
	—183	26,5—27,5	50—52		

Латуни свариваются аргоно-дуговой, дуговой, газовой и контактной сваркой. При больших толщинах применяют местный или общий подогрев. Перед заваркой латунного литья обязателен предварительный подогрев.

Аргоно-дуговую сварку неплавящимся электродом применяют для соединения листовых заготовок толщиной 3—4 *мм*, используя присадочную проволоку того же состава, что и основной металл. При дуговой сварке угольным электродом применяют присадочные прутки, легированные кремнием, прутки из бронз марок БрКМц3-1, ЛК80-3 и флюсы (бура, борный шлак и др.).

Дуговую сварку плавящимся электродом выполняют с применением проволоки из латуней ЛК80-3, ЛМц59-02 с покрытием марки 3т. Дуговую сварку латуни Л63 под слоем флюса производят с использованием медных проволок М1, М2 с флюсами МАТИ-53, АНФ-5, а латуней ЛО62-1, ЛС59-1, ЛЖМц59-1-1 — проволоки БрОЦ4-3 с флюсом АН-20.

Газовую сварку латуней Л63, ЛО62-1 и Л68 выполняют прутками из латуней ЛОК59-1-0,3, ЛОК62-0,6-0,4, ЛК80-3 и ЛК62-0,5 с применением флюсов (плавленая бура, смесь буры с борной кислотой и хлористым натрием, четырехкомпонентный флюс).

Механические свойства сварных соединений латуни Л68 приведены в табл. 2.

Кремнистые бронзы хорошо свариваются всеми способами сварки плавлением. Прочность наплавленного металла при дуговой сварке кремнистых бронз в среднем составляет 35—40 *кгс/мм²*.

Таблица 2

Механические свойства сварных соединений латуни Л68

Вид сварки	Присадочный материал	Флюс (покрытие)	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	Угол изгиба α *град*
Дуговая угольным электродом	ЛК80-3	Четырехкомпонентный	32—34 / 33,0	180
Дуговая плавящимся электродом	ЛК80-3	3т	29—33 / 31	180
Газовая	ЛОК59-1-0,3	Плавленая бура	36—38 / 37	180
Дуговая под слоем флюса	М1	МАТИ-53	28—30 / 29	180

При сварке алюминиевых бронз лучшие результаты обеспечиваются при дуговой сварке угольным электродом. Качественные соединения могут быть получены аргоно-дуговой сваркой неплавящимся электродом и электродуговой сваркой металлическим электродом.

Сварка алюминиевых бронз электродными стержнями состава: 11,3% Al; 5,7% Ni; 0,4% Mn; 0,1% Fe, Cu — остальное, обеспечивает следующие свойства наплавленного металла: $\sigma_в = 67{,}5$—69 *кгс/мм²*; $\sigma_{0,2} = 49{,}5$—52 *кгс/мм²*; $\delta = 7{,}5$—8,5%; $\psi = 6{,}5$—7,0%.

Свинцовистые бронзы обладают плохой свариваемостью. При сварке этих бронз, как правило, используют присадочный металл (электродные стержни) того же состава, что и основной металл. При сварке оловянистых бронз применяют присадочную проволоку состава 95—96% Cu, 3—4% Sn, 0,25% P, близкую по составу к марке БрОФ6,5-0,4; при сварке литых бронз пользуются универсальной проволокой марки БрКМц3-1.

Газовую сварку оловянистых и кремнистых бронз выполняют с флюсами, применяемыми для сварки меди, а сварку алюминиевых бронз — с флюсами, используемыми для сварки алюминиевых сплавов.

Медь

Полуфабрикаты из чистой меди различных марок имеют широкое распространение благодаря высокой пластичности, электропроводности и коррозионной стойкости. Примеси, даже в небольшом количестве, резко снижают тепло- и электропроводность меди. Для изготовления проводов обычно применяют медь марки М1, содержащую не менее 99% Cu. В изделиях неответственного назначения электрические контакты изготовляют также из меди марок М2 и М3.

В отожженном состоянии медь обладает высокими пластическими свойствами, но относительно низкой прочностью. Холодная деформация несколько снижает электропроводность меди, заметно повышает прочностные свойства и резко ухудшает пластичность.

Наклеп твердой меди можно снять отжигом. Температура рекристаллизации меди ~200°С. Для полного восстановления пластичности материала его следует отжигать при более высоких температурах (500—700°С). Чтобы избежать так называемой «водородной хрупкости», не следует проводить нагрев в восстановительной среде.

Медь можно обрабатывать сверлением, фрезерованием, строганием и другими методами холодной обработки. В мягком состоянии она вследствие малой твердости налипает на режущий инструмент и не дает скалывающейся стружки. Обработка резанием меди в нагартованном состоянии облегчается благодаря более высокой твердости материала. Предназначаемая для полирования медь должна быть нагартована.

Для штамповки деталей применяют отожженную медь. Медные листы и ленту изгибают в холодном состоянии. Допускается отбортовка края медных тянутых трубок после отжига.

При низких температурах (до —250°С) прочность меди повышается как в нагартованном, так и в отожженном состоянии.

Медь и ее сплавы обладают высоким электрохимическим потенциалом, поэтому их следует покрывать кадмием, чтобы избежать усиления коррозии при контактировании с деталями из других металлов.

МЕДЬ	М0, М1, М2, М3

Химический состав в %

Марка	Cu	Fe	Pb	Sn	Sb	Bi	As
	не менее	не более					
М0	99,95	0,004	0,004	0,002	0,002	0,001	0,002
М1	99,9	0,005	0,005	0,002	0,002	0,001	0,002
М2	99,7	0,05	0,01	0,05	0,005	0,002	0,01
М3	99,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,003	0,05

Продолжение

Марка	S	P	Ni	Ag	Zn	O_2	Сумма примесей
	не более						
М0	0,004	0,002	0,002	0,003	0,004	0,02	0,05
М1	0,005	—	0,002	0,003	0,005	0,05	0,1
М2	0,01	—	0,2	—	—	0,07	0,3
М3	0,01	—	0,2	—	—	0,08	0,5

Механические свойства по ГОСТ

Вид полуфабриката	ГОСТ	Состояние	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_{10} %	Глубина сферической лунки при толщине материала, *мм* * (не менее)					
					0,08	0,10—0,15	0,18—0,25	0,3—0,55	0,60—1,10	0,20—1,50
Листы и полосы										
холоднокатаные	ГОСТ 495—70	Мягкие	20	30	—	—	—	—	—	—
		Твердые	30	3	—	—	—	—	—	—
горячекатаные		—	20	30	—	—	—	—	—	—
Лента	ГОСТ 1173—70	Мягкая	21	30	6,5/—	7,5/3,4	8/3,8	9/4	9,5/—	10/—
		Твердая	30	3	—	—	—	—	—	—
Трубы:										
тянутые и холоднокатаные	ГОСТ 617—72	Мягкие	20	35	—	—	—	—	—	—
		Полутвердые	25	8	—	—	—	—	—	—
		Твердые	29	2	—	—	—	—	—	—
прессованные диаметром (в *мм*):	ГОСТ 617—72									
до 200		—	19	30	—	—	—	—	—	—
свыше 200		—	18	30	—	—	—	—	—	—

Продолжение

Вид полуфабриката	ГОСТ	Состояние	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ_{10} %	Глубина сферической лунки при толщине материала, *мм** (не менее)					
					0,08	0,10—0,15	0,18—0,25	0,3—0,55	0,60—1,10	0,20—1,50
Прутки тянутые	ГОСТ 1535—71	Мягкие	20	35	—	—	—	—	—	—
		Полутвердые	24	10	—	—	—	—	—	—
		Твердые	28	5	—	—	—	—	—	—
Прутки горячекатаные	ГОСТ 1535—71	—	20	8		—	—	—	—	—
Прутки прессованные	ГОСТ 1535—71	—	20	30		—	—	—	—	—

Примечание. Проволока электротехническая диаметром 0,02—10 *мм* выпускается по ГОСТ 2112—71. Трубки капиллярные из меди марки М2 выпускаются по ГОСТ 5.1196—72.

* Показатели приведены для пуансона радиусом 10 *мм*; в дробных числах в знаменателе приведены показатели для пуансона радиусом 4 *мм*.

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	G	μ	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	$S_к$
		кгс/мм²			*кгс/мм²*		
Прутки тянутые	Мягкие	12000	4480	0,34	8	24	60
	Твердые	—	—	—	30	35	—

Продолжение

Вид полуфабриката	Состояние	δ_{10}	ψ	$\tau_{ср}$	HB	$a_н$	σ_{-1} *
		%		*кгс/мм²*		*кгс · м/см²*	*кгс/мм²*
Прутки тянутые	Мягкие	50	75	15	45	16	8
	Твердые	10	35	20	95	—	9

* На базе $1 \cdot 10^8$ циклов.

Физические свойства

Плотность 8950 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—100	20—300	20—600	20—800
$\alpha \cdot 10^6$ 1/*град*	16,8	17,7	18,9	19,6

Коэффициент теплопроводности

$\lambda = 385$ *вт/м · град*.

Удельная теплоемкость

$c = 0,377$ *кдж/кг · град*.

Удельное электросопротивление

Температура °С	20
$\rho \cdot 10^6$ *ом · см*	1,75 (мягкое состояние) 1,79 (деформированное состояние)

Антифрикционные свойства

Коэффициент трения:

со смазкой (маслом МС) 0,011;
без смазки — 0,4.

Коррозионная стойкость

Медь обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью в атмосферных условиях при комнатной температуре.

Технологические данные

Медь высокопластична в отожженном состоянии, при обработке давлением выдерживает без промежуточных отжигов обжатие до 85—95%. Температура горячей обработки 800—900°С. Отжиг рекомендуется проводить в интервале температур 500—700°С в зависимости от толщины материала.

Рекомендуемая температура литья 1150—1230°С; линейная усадка 2,1%.

Медь, содержащая кислород (до 0,01%), подвержена растрескиванию при нагреве в восстановительной среде с водородом. Хорошо сваривается, паяется и обрабатывается резанием (лучше в деформированном состоянии).

Применение

Шины, контакты и другие токоведущие детали, трубопроводы, шайбы, заклепки, ниппели, прокладки и др.

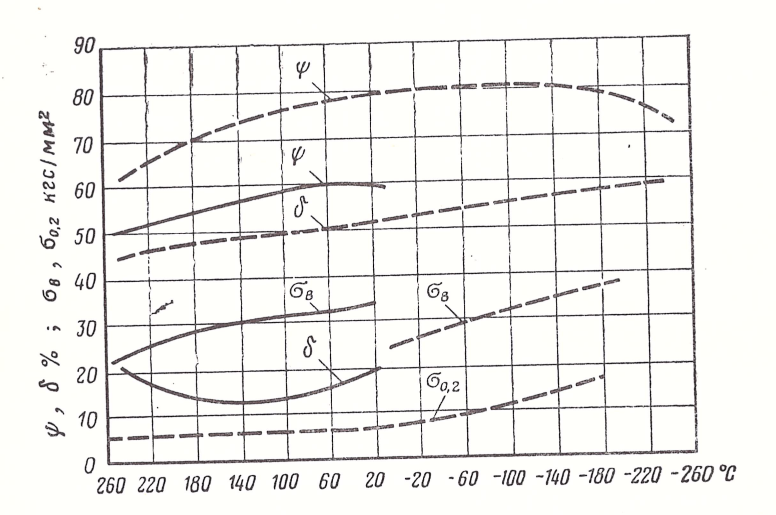


Рис. 1. Механические свойства медных прутков диаметром 20 *мм* при различных температурах:

—— деформированный на 25%; — — отожженный.

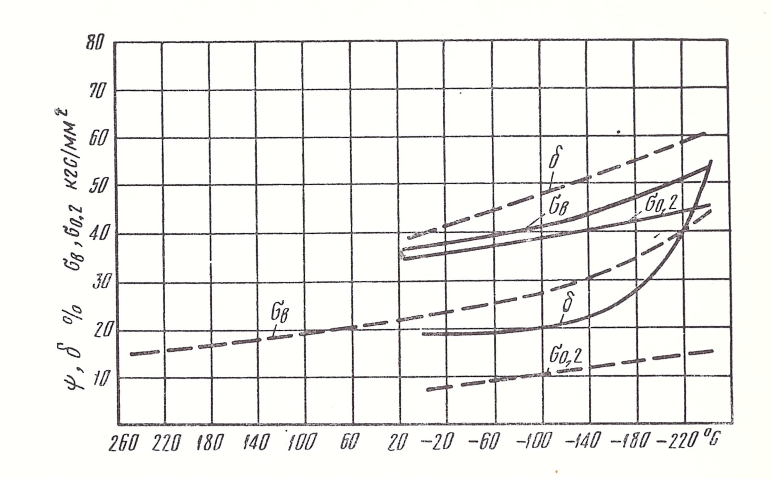


Рис. 2. Механические свойства полуфабрикатов из электролитической меди при различных температурах:

—— проволока диаметром 6 *мм*, деформированная на 40%;
— — лента толщиной 0,25 *мм*, отожженная.

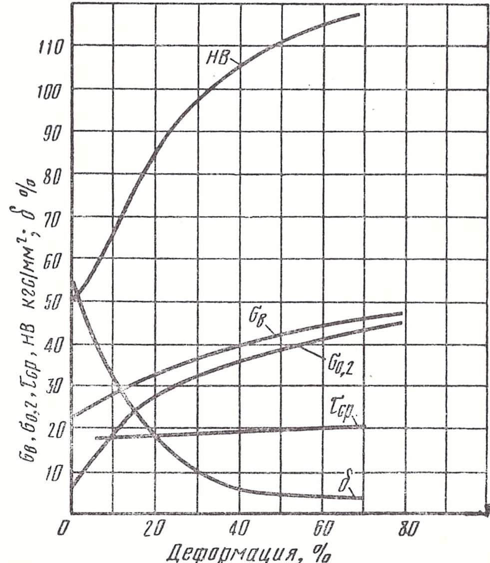


Рис. 3. Зависимость механических свойств ленты толщиной 3,5 *мм* из электролитической меди от степени деформации.

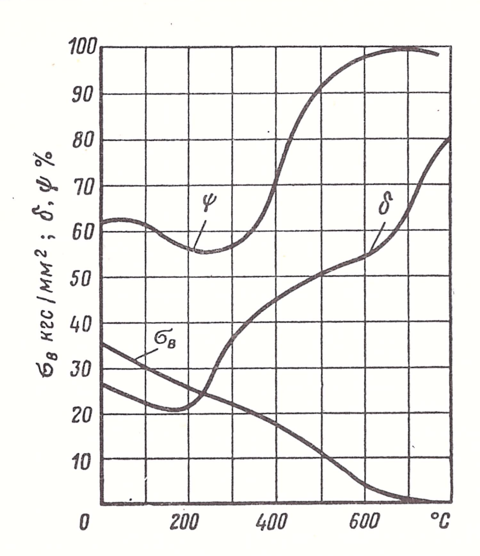


Рис. 4. Механические свойства медных прутков диаметром 25 *мм*, деформированных на 25%, при высоких температурах.

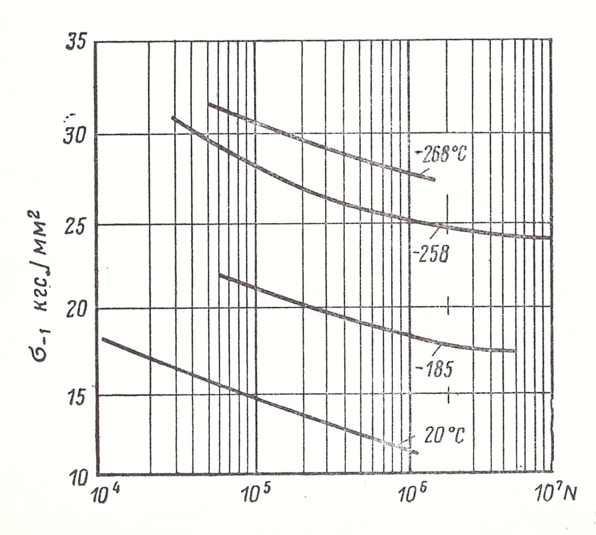


Рис. 5. Кривые выносливости полуфабрикатов из отожженной меди при осевой нагрузке при низких температурах.

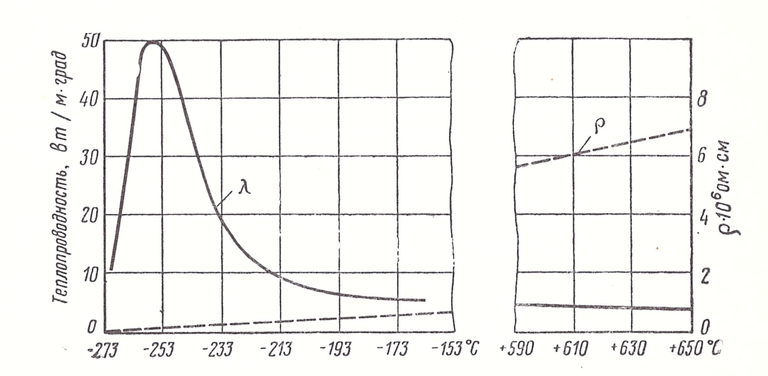


Рис. 6. Зависимость теплопроводности меди и удельного электросопротивления от температуры.

Латуни

Латуни представляют собой сплавы с цинком, являющимся основной легирующей добавкой. Введение цинка позволяет повысить механические свойства меди: пределы пропорциональности, текучести и прочности, твердость и удлинение. Латуни отличаются технологичностью, обладают высокими литейными свойствами и деформируемостью, легко обрабатываются резанием.

К группе конструкционных сплавов относятся латуни марок Л96, Л68, Л63, ЛС59-1, ЛС59-1Л, ЛО70-1, ЛО62-1, ЛАЖ60-1-1, ЛАЖ60-1-1Л, ЛЖМц59-1-1, ЛА67-2,5, ЛК80-3 и ЛК80-3Л.

Латунные полуфабрикаты поставляются в твердом, полутвердом и мягком состояниях в зависимости от способов изготовления, степени деформации и термической обработки готовых изделий.

Особенностью латуни Л96 является ее высокая коррозионная стойкость и отсутствие склонности к коррозионному растрескиванию; она хорошо обрабатывается давлением в горячем и холодном состоянии. Латунь этой марки применяется для изготовления трубок радиаторных, конденсаторных и иного назначения.

Латунь Л68 наиболее пластична. Она выпускается в виде труб, листов, ленты и проволоки диаметром от 0,1 *мм* и особенно широко применяется для деталей, изготовляемых из полуфабрикатов путем холодной глубокой вытяжки.

Латуни Л63 и ЛС59-1 также выпускаются в виде проволоки, листов, ленты, прутков и труб.

Латунь, как и медь, упрочняется при холодной деформации (прокатке или протяжке). Для полного снятия наклепа достаточно применить отжиг при 450—700°С в течение 1 *час*.

К недостаткам наклепанной латуни относится склонность к образованию трещин вследствие коррозионного воздействия среды. Низкий отжиг (при 250—300°С в течение 1 *час*) способствует или уменьшению или полному снятию внутренних напряжений и устраняет склонность латуни к сезонному растрескиванию.

Проволока из латуней Л63 и ЛС59-1 служит для изготовления заклепок, стопорных винтов, шпилек, штифтов. Шайбы, кольца и прокладки изготовляются штамповкой из листов или ленты.

Трубы из латуней Л68 и Л63 предназначаются для получения трубопроводов, втулок и патрубков различных видов. Из латуней этих марок изготовляются также тонкостенные тянутые трубки; из прутков латуни ЛС59-1 получают детали на автоматных станках.

Всевозможные фасонные детали (кронштейны, корпусы приборов, тройники, фланцы, подшипники, втулки, щеткодержатели, гайки, пробки, штуцеры и др.) изготовляются из латуней марок Л68, ЛС59-1 и др. методом точного литья.

Латуни паяются и свариваются, обрабатываются всеми видами механической обработки, но для латуней Л68 и Л63 использование высоких скоростей затруднительно. Латунь ЛС59-1, содержащая свинец, прекрасно обрабатывается с образованием легко отделяющейся сыпучей стружки.

Латуни специальные, легированные оловом, алюминием, марганцем, железом, кремнием и другими элементами, обладают повышенной прочностью и применяются для изготовления деталей арматуры и приборов, а также деталей, работающих на трение при относительно небольших удельных давлениях и скоростях скольжения, а также при хорошей смазке. При сухом трении или недостаточной смазке все латуни быстро изнашиваются.

Для получения отливок методом точного литья рекомендуются специальные латуни следующих марок: алюминиевая ЛА67-2,5 и кремнистая ЛК80-3Л, обладающие хорошими литейными свойствами, а также латунь ЛАЖ60-1-1, имеющая мелкую структуру и высокую прочность при отливке в горячие формы.

ЛАТУНЬ	Л96

Химический состав в %

Cu *	Zn	Fe	Pb	Sb	Bi	P	Сумма примесей
		не более					
95,0—97,0	Остальное	0,10	0,03	0,005	0,002	0,01	0,2

* Допускается содержание никеля в количестве до 5% (за счет уменьшения содержания меди).

Механические свойства по ГОСТ или ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ или ТУ	Состояние	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ_{10} %
Трубки тонкостенные	ГОСТ 11383—65	Мягкие Твердые	21 35	35 2
Трубки радиаторные тянутые	ГОСТ 5.1162—71	Мягкие Твердые	30 40	— —
Трубки капиллярные	ГОСТ 2624—67	Мягкие Твердые	21 —	35 4
Трубы тянутые и холоднокатаные	ГОСТ 617—72	Мягкие Полутвердые Твердые	20 25 29	35 8 2
Трубки радиаторные профилированные	ТУ 48-21-11—72	Твердые	40—58	—

Примечание. Трубки плоскоовальные выпускаются по ТУ 48-21-45—72.

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10}	ψ	$\tau_{ср}$	HB
		кгс/мм²			%		*кгс/мм²*	
Трубки	Твердые (деформированные на 50%)	11900	35	40	5	—	26	110
Полосы	Мягкие	—	7	27	45	80	—	45

Физические свойства

Плотность 8850 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—200	20—300
$\alpha \cdot 10^6$ 1/*град*	17,8	18,1

Коэффициент теплопроводности

$\lambda = 234$ *вт/м · град*.

Удельная теплоемкость

$c = 0{,}377$ *кдж/кг · град*.

Удельное электросопротивление

$\rho \cdot 10^6 = 3{,}8$ *ом · см* (20°).

Коррозионная стойкость

Латунь обладает высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и пресной воде. Может применяться для работы в морской воде. Растрескиванию не подвержена.

Технологические данные

Пластичность высокая. Латунь обрабатывается давлением в горячем и холодном состояниях. Рекомендуемая температура горячей обработки 775—850°С, отжига — 450—700°С.

Применение

Трубопроводы, радиаторные, конденсаторные и другие трубки и детали.

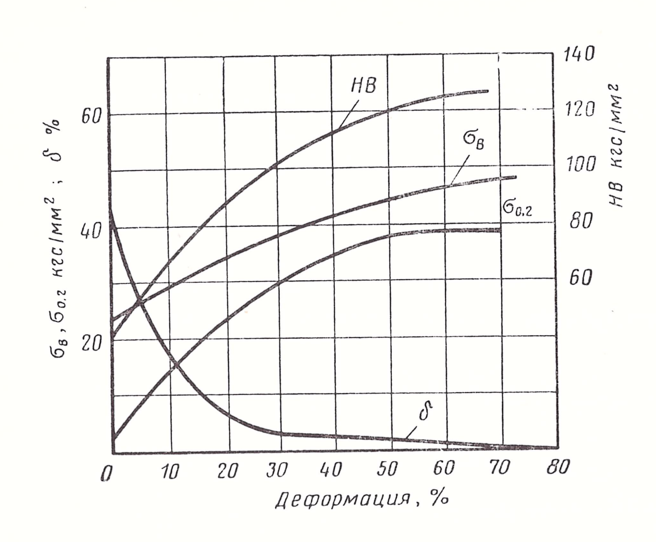


Рис. 1. Зависимость механических свойств мягких листов из латуни Л96 толщиной 1 *мм* от степени деформации.

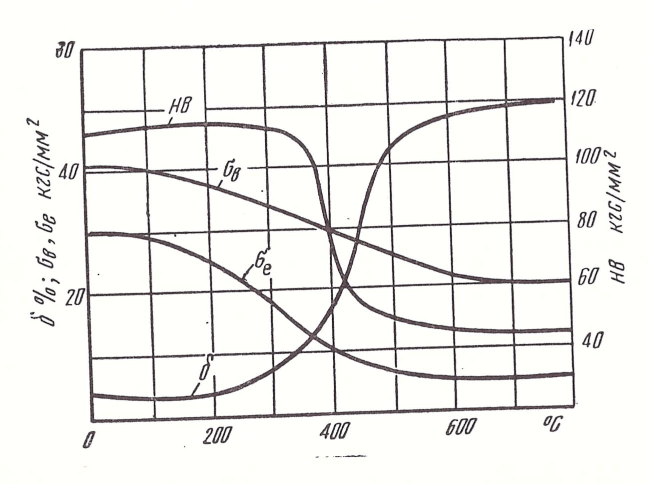


Рис. 2. Зависимость механических свойств листов из латуни Л96 толщиной 1 *мм*, деформированных на 50%, от температуры отжига.

ЛАТУНЬ	Л68

Химический состав * в %

Cu	Zn	Fe	Pb	Sb	Bi	P	Сумма примесей
		не более					
67,0—70,0	Остальное	0,10	0,03	0,005	0,002	0,01	0,03

* В латуни специального назначения содержание примесей не должно превышать в сумме 0,2% (0,07% Fe; 0,002% Sb; 0,005% As; 0,002% S и 0,005% P).

Механические свойства по ГОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ	Состояние	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_{10} %	Глубина сферической лунки при толщине материала (в *мм*) до 0,25	0,30—0,50
Листы, полосы и лента холоднокатаные	ГОСТ 931—70 и ГОСТ 2208—70	Мягкие	30	42	9	10
		Полутвердые	35	20	7—9	9—11
		Твердые	44	10	5—7	7—9
		Особо твердые	53	—	—	—
Полосы	ГОСТ 5362—50	Мягкие	30—35	50	—	—
Трубы тянутые и холоднокатаные	ГОСТ 494—69	Мягкие	30	38	—	—
		Полутвердые	35	30	—	—
Трубки тонкостенные	ГОСТ 11383—65	Мягкие	30	38	—	—
		Твердые	40	10	—	—

Продолжение

Вид полуфабриката	ГОСТ	Состояние	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_{10} %	Глубина сферической лунки при толщине материала (в мм)	
					до 0,25	0,30—0,50
Проволока диаметром (в мм):	ГОСТ 1066—58	Мягкая				
0,10—0,18			38	20	—	—
0,20—0,75			35	25	—	—
0,80—1,4			32	30	—	—
1,50—12			30	40	—	—
Проволока диаметром (в мм):	ГОСТ 1066—58	Полутвердая				
0,20—0,75			40	5	—	—
0,80—1,4			38	10	—	—
1,50—12			35	15	—	—
0,10—0,75		Твердая	70—95	—	—	—
0,80—1,4			60—80	—	—	—
1,50—12			55—75	—	—	—

Примечание. Удлинение проволоки определялось при расчетной длине образца 100 *мм*.

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E кгс/мм²	$\sigma_{0,2}$ кгс/мм²	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_{10} %	$\sigma_{0,005\ изг}$ кгс/мм²	$\tau_{ср}$ кгс/мм²	HB кгс/мм²	$a_н$ кгс·м/см²	σ_{-1}* кгс/мм²
Полосы	Мягкие	11000	10	30	60	8	20	65	17	9
	Твердые	11500	45	52	12	—	—	160	—	13
	Особо твердые	—	60	70	2	45	—	200	—	14
	То же + +отжиг 200°C—1 *час*	—	—	—	—	52	—	—	—	—

* На базе $1 \cdot 10^8$ циклов.

Пределы ползучести ($\sigma_{0,01/1000}$), *кгс/мм²*

Вид полуфабриката	Состояние	Температура, °C		
		150	200	250
Полосы	Твердые (деформированные на 40%)	16,5	7,5	1,5

Физические свойства

Плотность 8600 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—300	20—500
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	19	20,5

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	20	—50	—100	—150
λ *вт/м·град*	113	100	87,9	75

Удельное электросопротивление

Температура °C	20
$\rho \cdot 10^6$ *ом·см*	6,2 (мягкое состояние) 7,0 (деформированное состояние)

Удельная теплоемкость

$c = 0{,}377$ *кдж/кг·град*.

Коррозионная стойкость

Латунь обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью, подвержена коррозионному растрескиванию. Для повышения сопротивления коррозионному растрескиванию необходим отжиг.

Скорость коррозии в различных средах

Фтор		Сухой CO_2 при высокой температуре	H_3PO_4			HCl			HF			Морская вода	
температура °C	скорость *мм/год*		концентрация %	температура °C	скорость *мм/год*	концентрация %	температура °C	скорость *мм/год*	концентрация %	температура °C	скорость *мм/год*	температура °C	скорость *мм/год*
60	0,0005	Не разрушается	20	20	0,276	Газ	−15	0,299	Жидкий HF	−15	0,387	30	0,005
			20	50	0,138	100	40	0,53	(0,5—3 H_2O)	+15	0,051	50	0,011
			20	75	0,275	100	100	2,30	Газ HF (0,5—3 H_2O)	40 100	0,112 0,27		
			40	15	0,114	100	250	3,00		300	0,041		
			40	75	0,095	39	15	0,1—1,0		500	2,14		
			60	15	0,023	0,036	15	0,13	100	10	0,101		
			60	75	0,038	0,036	50	0,50	100	38	0,457		
						0,072	15	0,23	Пары воды	20	0,0025		
						0,072	50	0,61					
						0,36	15	7,9					

Технологические данные

Латунь хорошо обрабатывается давлением в горячем и холодном состояниях, пригодна для глубокой штамповки. Горячую обработку рекомендуется проводить в интервале температур 730—830°C. Температура отжига 450—700°C. Для предупреждения растрескивания рекомендуется проводить отжиг при 250—280°C. Температура литья 1100—1160°C, линейная усадка 1,92%; жидкотекучесть — длина спирали 60 *см*.

Латунь удовлетворительно сваривается, паяется и обрабатывается резанием.

Применение

Обечайки, трубопроводы, патрубки, сильфоны и т. п.

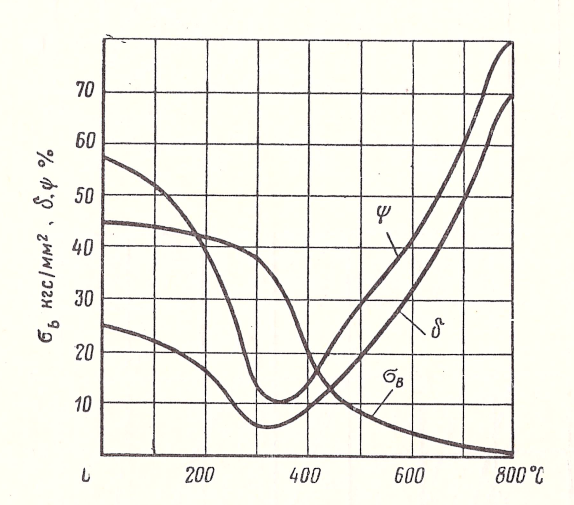


Рис. 1. Механические свойства прутков из латуни Л68, деформированных на 20%, при высоких температурах.

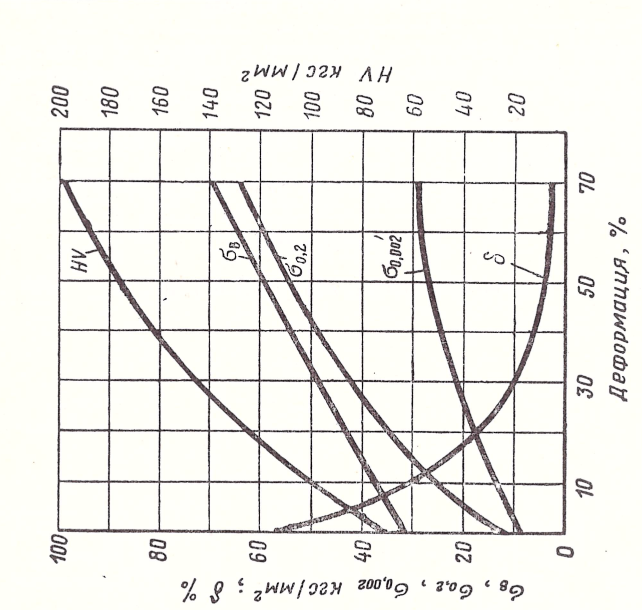


Рис. 3. Зависимость механических свойств ленты толщиной 0,5 *мм* из латуни Л68 от степени деформации.

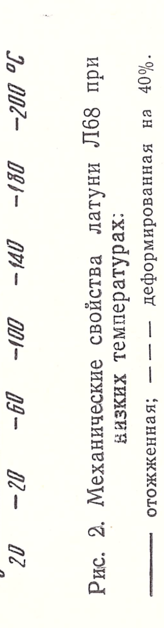


Рис. 2. Механические свойства латуни Л68 при низких температурах:

——— отожженная; — — — деформированная на 40%.

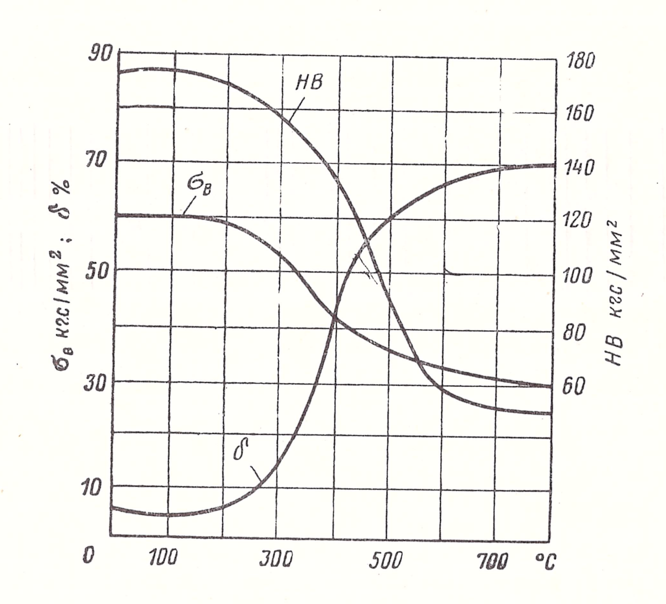


Рис. 4. Зависимость механических свойств ленты толщиной 2,5 *мм* из латуни Л68, холоднодеформированной на 50%, от температуры отжига.

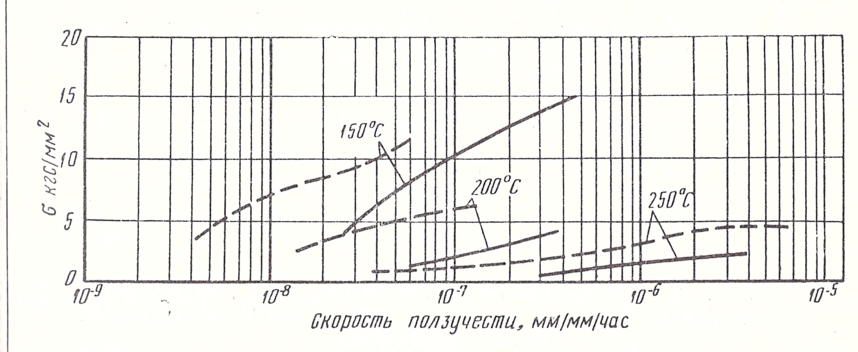


Рис. 5. Кривые ползучести отожженной ленты из латуни Л68:

——— величина зерна 0,016 *мм*; — — — — величина зерна 0,085 *мм*.

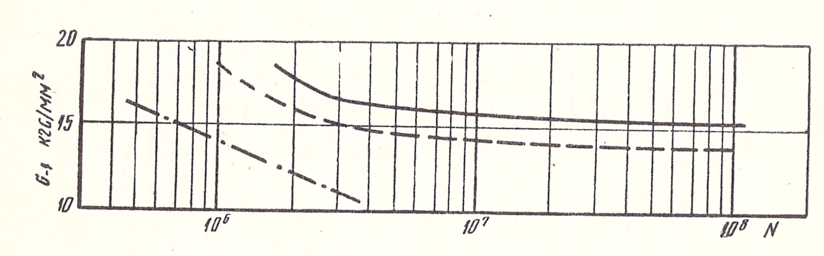


Рис. 6. Кривые выносливости при изгибе листов толщиной 0,51 *мм* из латуни Л68:

——— особо твердые ($\sigma_в$ =68,6 *кгс/мм²*); — — — твердые ($\sigma_в$ =57,4 *кгс/мм²*); — · — · — отожженные ($\sigma_в$ =32,2 *кгс/мм²*).

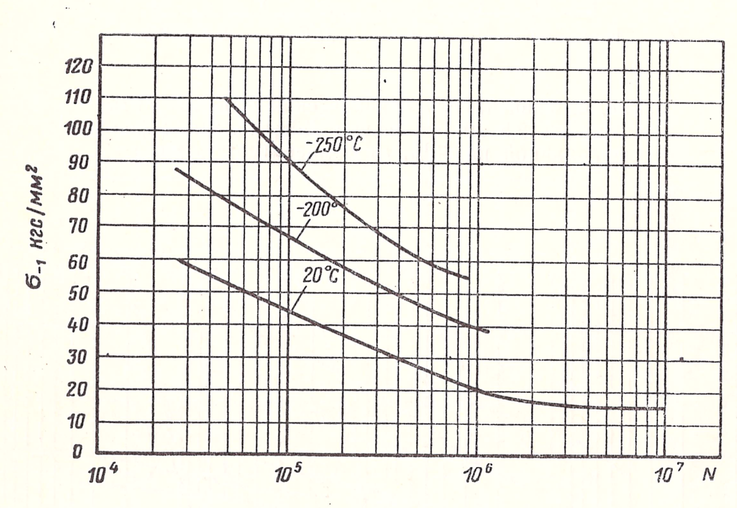


Рис. 7. Кривые выносливости при изгибе особо твердых листов толщиной 1,02 *мм* из латуни Л68 ($\sigma_в$=66,8 *кгс/мм²*) при низких температурах.

ЛАТУНЬ	Л63

Химический состав * в %

Cu	Zn	Fe	Pb	Sb	Bi	P	Сумма примесей
		не более					
62,0—65,0	Остальное	0,2	0,07	0,005	0,002	0,01	0,5

* Допускается содержание никеля в количестве до 0,5% (за счет уменьшения содержания меди).

Механические свойства по ГОСТ или ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ или ТУ	Состояние	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ_{10} %	Глубина сферической лунки при толщине материала (в *мм*) до 0,25	Глубина сферической лунки при толщине материала (в *мм*) 0,30—0,50
Листы	ГОСТ 931—70	Горячекатаные	30	30	—	—
Листы, полосы и лента холоднокатаные	ГОСТ 931—70 и 2208—70	Мягкие	30	38	7,5	9,5
		Четвертьтвердые	35	20	—	—
		Полутвердые	42	10	5,5—7,5	7,5—9,5
		Твердые	50	4	3—5,5	5,5—7,5
		Особо твердые	60	—	—	—
Полосы и лента	ТУ 48-21-132-72	Твердые	55	3	—	—
Прутки диаметром 10—160 *мм*	ГОСТ 2060—73	Прессованные	30	30	—	—
Прутки тянутые диаметром (в *мм*):	ГОСТ 2060—73					
3—50		Мягкие	30	40	—	—
3—40		Полутвердые	38	15	—	—
3—12		Твердые	45	10	—	—

Продолжение

Вид полуфабриката	ГОСТ или ТУ	Состояние	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ_{10} %	Глубина сферической лунки при толщине материала (в *мм*) до 0,25	0,30—0,50
Трубы тянутые и холоднокатаные	ГОСТ 494—69	Мягкие	30	38	—	—
		Полутвердые	34	30	—	—
Трубы прессованные	ГОСТ 494—69	—	28	38	—	—
Трубки тонкостенные	ГОСТ 11383—65	Мягкие	30	38	—	—
		Твердые	40	10	—	—
Трубки манометрические	ТУ 48-08-339-72	Твердые	45	7	—	—
Профили прессованные	ТУ 48-08-372-70	—	30	30	—	—
Проволока диаметром (в *мм*):	ГОСТ 1066—58	Мягкая				
0,10—0,18			35	18	—	—
0,20—0,50			35	20	—	—
0,55—1,0			35	26	—	—
1,10—4,8			35	30	—	—
5—12			32	34	—	—
0,20—1,0		Полутвердая	45	5	—	—
1,10—4,8			40	10	—	—
5—12			36	12	—	—
0,10—0,18		Твердая	75—95	—	—	—
0,20—0,5			70—95	—	—	—
0,55—1,0			70—90	—	—	—
1,10—4,8			60—80	—	—	—
5—12			55—75	—	—	—

Примечание. Удлинение проволоки определялось на длине образца 100 *мм*.

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	$\sigma_{пц}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10}	ψ	$\tau_{ср}$	HB	$a_н$ *кгс · м/см²*	σ_{-1}* *кгс/мм²*
		кгс/мм²				%		*кгс/мм²*			
Отливки	Литые	—	—	12	33	35	50	24	—	—	—
Прутки	Мягкие	10500	6	15	36	60	75	28	70	14	—
	Особо твердые (деформированные на 60%)	—	25	48	68	8	20	—	160	—	16

* На базе $1 \cdot 10^8$ циклов.

Физические свойства

Плотность 8500 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—300
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	20,8

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	20
λ *вт/м · град*	121

Удельное электросопротивление

Температура °C	20
$\rho \cdot 10^6$ *ом · см*	6,2

Удельная теплоемкость

$c = 0{,}377$ *кдж/кг · град*.

Антифрикционные свойства

Коэффициент трения:

со смазкой — 0,013;
без смазки — 0,39.

Коррозионная стойкость

Латунь обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, склонна к сезонному растрескиванию. Для устранения склонности к растрескиванию применяется отжиг.

Коррозионная усталость

Состояние материала	$\sigma_в$	σ_{-1} (на воздухе)	σ_{-1} (в воде)
	кгс/мм²		
Катаный	59	16	12
Отожженный	23	14	12

Технологические данные

Латунь отлично обрабатывается давлением в горячем и холодном состояниях. Температура прокатки 750—850, прессования — 650—800, отжига — 400—600°С. Для снятия внутренних напряжений и предупреждения растрескивания рекомендуется отжиг при 250—280°С. В отожженном состоянии латунь пластична, пригодна для глубокой штамповки.

Температура литья 1060—1100°С.

Латунь удовлетворительно сваривается, паяется и обрабатывается резанием.

Применение

Трубопроводы, прокладки, шайбы, кольца, футорки, штифты, заклепки, контровка, оплетка шлангов и др.

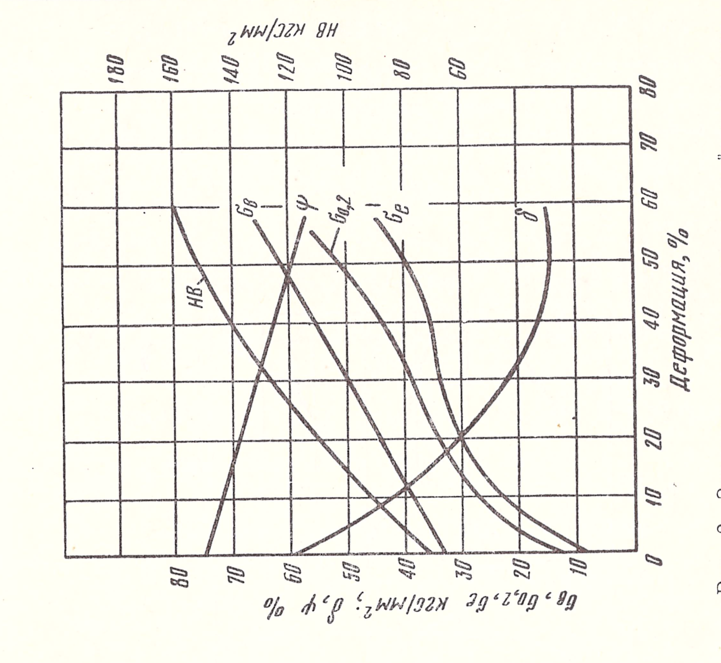


Рис. 2. Зависимость механических свойств прутков (мягких) диаметром 25 мм из латуни Л63 от степени деформации.

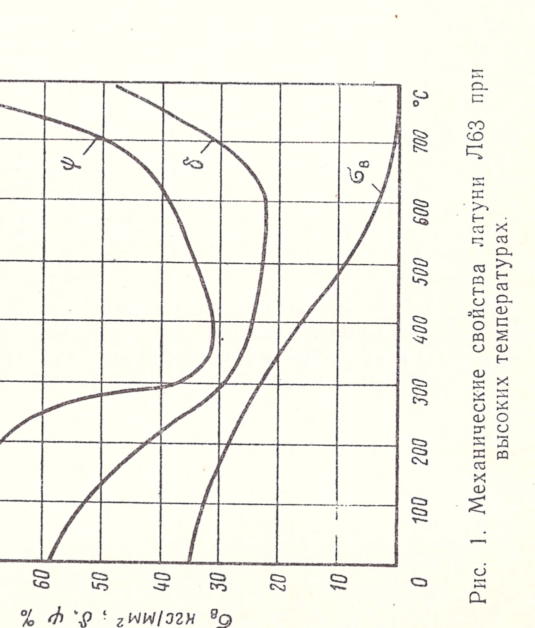


Рис. 1. Механические свойства латуни Л63 при высоких температурах.

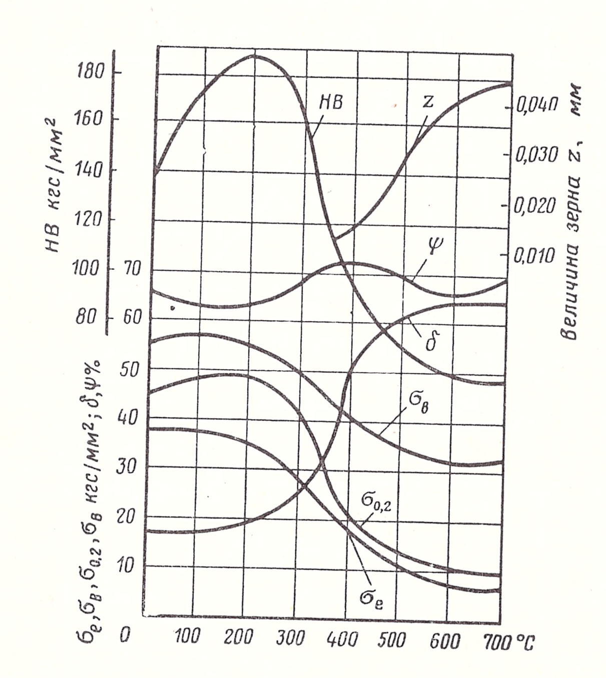


Рис. 3. Зависимость механических свойств прутков диаметром 25 *мм* из латуни Л63, деформированных на 40%, от температуры отжига в течение 1 *час* (величина зерна 0,045 *мм*).

ЛАТУНЬ СВИНЦОВАЯ	**ЛС59-1 и ЛС59-1Л**

Химический состав в %

Марка	Cu *	Pb	Zn	Fe	Sb	Bi	P	Сумма примесей **
				не более				
ЛС59-1	57,0—60,0	0,8—1,9	Остальное	0,5	0,010	0,003	0,02	0,75
ЛС59-1Л	57,0—61,0	0,8—1,9	Остальное	0,8	0,05	—	—	2,0

* Допускается содержание никеля до 1,0% (за счет уменьшения содержания меди).

** Сумма примесей олова и кремния в латуни ЛС59-1 не должна превышать 0,5%.

Механические свойства по ГОСТ или ОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ или ТУ	Состояние	ЛС59-1		ЛС59-1Л		
			$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_{10} %	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_5 %	*HB* кгс/мм²
Листы	ГОСТ 931—70	Горячекатаные	37	18	—	—	—
Листы, полосы и лента холоднокатаные	ГОСТ 2208—70	Мягкие	35	25	—	—	—
	ГОСТ 931—70	Твердые	47	5	—	—	—
Прутки тянутые, круглые диаметром (в *мм*):	ГОСТ 5.1149—71						
5—12		—	42	8	—	—	—
13—16		—	40	12	—	—	—
Прутки прессованные диаметром 10—160 *мм*	ГОСТ 2060—73	—	37	18	—	—	—
Прутки тянутые диаметром (в *мм*):	ГОСТ 2060—73						
3—50		Мягкие	34	22	—	—	—
3—40		Полутвердые	40	15	—	—	—

Продолжение

Вид полуфабриката	ГОСТ или ТУ	Состояние	ЛС59-1 $\sigma_в$ кгс/мм²	ЛС59-1 δ_{10} %	ЛС59-1Л $\sigma_в$ кгс/мм²	ЛС59-1Л δ_5 %	ЛС59-1Л HB кгс/мм²
Прутки тянутые диаметром 3—12 *мм*	ГОСТ 2063—73	Твердые	50	5	—	—	—
Трубы *	ГОСТ 494—69	Прессованные	40	20	—	—	—
Проволока диаметром (в *мм*):	ГОСТ 1066—58						
2—12		Мягкая	35	30	—	—	—
2—12		Полутвердая	40	—	—	—	—
2—4,8		Твердая	45—65	5	—	—	—
5—12		То же	45—65	8	—	—	—
Отливки (центробежное литье)	ГОСТ 17711—72	Литые	—	—	20	20	—
Отливки (точное литье)	ОСТ1 90046—72	То же	—	—	25	15	60

* Трубки прессованные из латуни ЛС59-1 выпускаются по ГОСТ 2624—67.

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10}	ψ	$\tau_{ср}$	HB	$a_н$	σ_{-1} *
		кгс/мм²			%		кгс/мм²		кгс·м/см²	кгс/мм²
Полосы	Мягкие	—	15	42	42	60	30	90	5	—
	Полутвердые	—	35	50	15	—	40	140	6	—
Прутки	Тянутые	10000	50	60	6	—	—	165	—	—
	Прессованные	—	—	45	—	—	—	—	—	16
Отливки	Литые	—	15	34	27	—	—	80	2,5	—

* На базе 5·10⁷ циклов.

Механические свойства в различных направлениях при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	$\sigma_{пц}$ вдоль	$\sigma_{пц}$ поперек	$\sigma_{0,2}$ вдоль	$\sigma_{0,2}$ поперек	$\sigma_в$ вдоль	$\sigma_в$ поперек	δ_{10} вдоль	δ_{10} поперек
		кгс/мм²						%	
Прутки	Прессованные	17	15	39	36	48	46	16	15
Листы толщиной 3 *мм*	Твердые	22	21	47	46	58	58	11	5

Механические свойства при низких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{0,2}$ кгс/мм²	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_{10} %	ψ %
Прутки	Мягкие	20	14	37	50	62
		—78	17	38	50	64
		—183	20	48	50	62
	Холоднокатаные	20	32	44	28	57
		—78	38	49	27	59
		—183	49	60	30	57
Листы	Горячекатаные	20	—	45	37	35
		—196	—	59	34	38
		—253	—	68	35	35

Физические свойства

Плотность 8500 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—300
$\alpha \cdot 10^6$ 1/*град*	21

Коэффициент теплопроводности

$\lambda = 121$ *вт/м·град*.

Удельное электросопротивление

$\rho \cdot 10^6 = 6,5$ *ом·см* (мягкое состояние).

Температура плавления 880—900°С.

Коррозионная стойкость

Латунь коррозионностойка, может применяться для работы в морской воде. Склонна к растрескиванию под напряжением. Для устранения склонности к растрескиванию применяют отжиг.

Технологические данные

Латунь применяется в деформированном и литом состояниях. В горячем состоянии отлично обрабатывается давлением, в холодном — удовлетворительно. Температура прокатки, прессования и ковки 640—780°C, отжига — 400—600°C. Максимально допустимая деформация в холодном состоянии 45%, в горячем — 99%. Для снятия внутренних напряжений и устранения склонности к растрескиванию рекомендуется отжиг при 250—280°C.

Температура литья 1030—1080°C; линейная усадка 2,33%.

Латунь удовлетворительно сваривается и паяется; отлично обрабатывается резанием.

Применение

Трубы, стопоры, винты, штифты, шпильки, ниппели, футорки, корпусы кранов, прокладки, кольца, гайки, распылители, жиглеры, тройники, тяги, втулки, сухари, угольники, контровки.

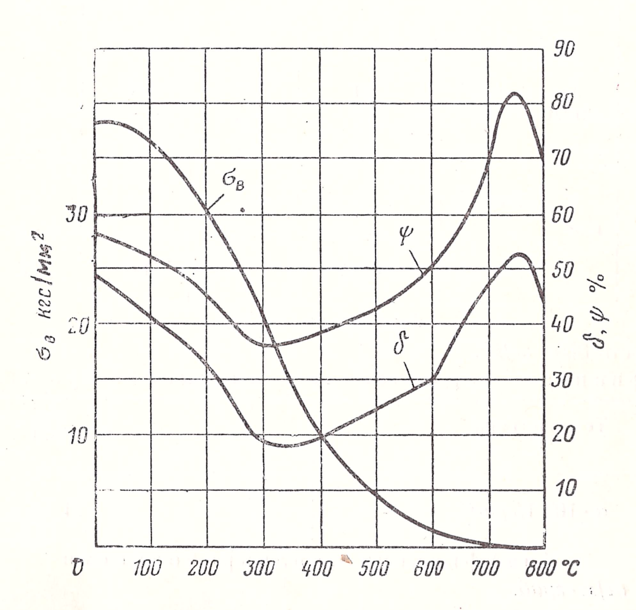


Рис. 1. Механические свойства при высокой температуре полосы толщиной 3 *мм* из латуни ЛС59-1, отожженной при 600°C — 1 *час*.

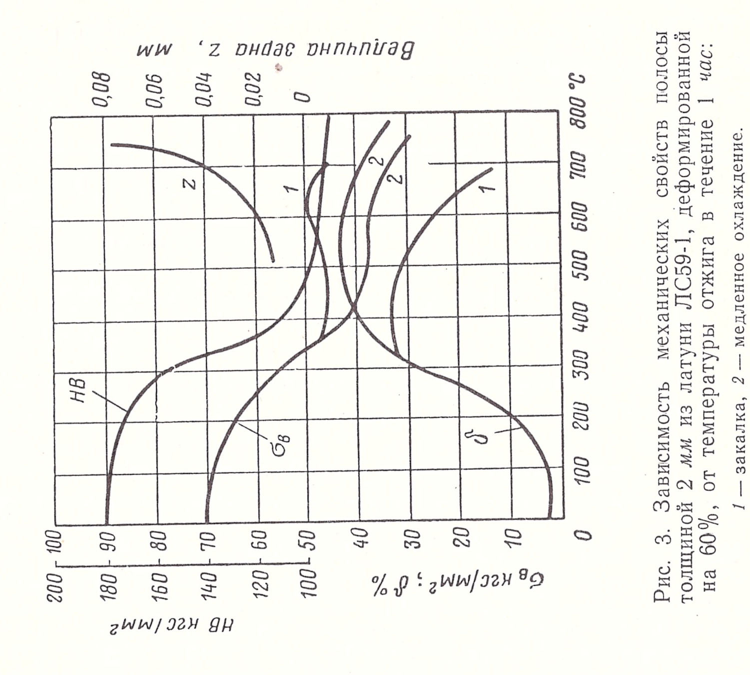


Рис. 3. Зависимость механических свойств полосы толщиной 2 *мм* из латуни ЛС59-1, деформированной на 60%, от температуры отжига в течение 1 *час*:

1 — закалка, *2* — медленное охлаждение.

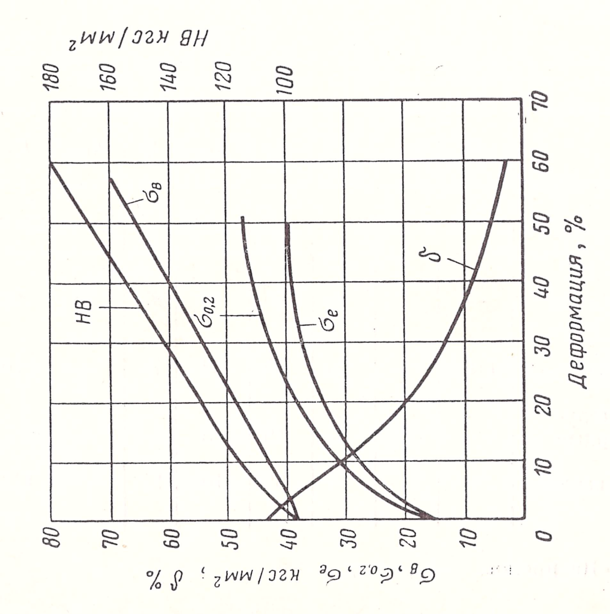


Рис. 2. Зависимость механических свойств полосы толщиной 2 *мм* из латуни ЛС59-1, отожженной при 600°C — 1 *час*, от степени деформации (величина зерна 0,02 *мм*).

ЛАТУНЬ ОЛОВЯННАЯ	ЛО70-1

Химический состав * в %

Cu	Sn	Zn	Fe	Pb	Sb	Bi	P	Сумма примесей
			не более					
69,0—71,0	1,0—1,5	Остальное	0,1	0,07	0,005	0,002	0,01	0,3

* Допускается содержание никеля в количестве до 0,5% (за счет уменьшения содержания меди).

Механические свойства по ГОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ	Состояние	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_{10} %
Трубы тянутые и холоднокатаные	ГОСТ 494—69	Мягкие Полутвердые	30 35	38 30

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	$\sigma_{пц}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10}	ψ	$\tau_{ср}$	HB	σ_{-1} *
		кгс/мм²				%		кгс/мм²		
Отливки (в кокиль)	Литые	—	8	18	25	45	45	20	60	10
Прутки	Мягкие	11000	—	16	35	62	70	—	70	12
	Полутвердые	—	22	—	45	35	—	—	—	—
	Твердые	—	—	—	58	10	28	—	140	—

* На базе $1 \cdot 10^7$ циклов.

Пределы ползучести

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_{10} %	$\sigma_{0,001/100}$	$\sigma_{0,01/1000}$	$\sigma_{0,1/1000}$	$\sigma_{1/1000}$
					кгс/мм²			
Прутки	Особо твердые (деформированные на 60%)	150	76	6	7,0	22	36	—
		200			—	1	6,5	—
		250			0,1	0,3	0,7	—
	Полутвердые (деформированные на 26%)	200	48	35	—	9	13	19
		300			—	0,7	1,4	2,7

Физические свойства

Плотность 8500 кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—300
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	19,7

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	20
λ вт/м·град	109

Удельная теплоемкость

$c = 0,377$ кдж/кг·град.

Удельное электросопротивление

$\rho \cdot 10^6 = 7,0$ ом·см.

Коррозионная стойкость

Латунь обладает повышенной коррозионной стойкостью, может применяться для работы в морской воде. В холоднодеформированном состоянии склонна к растрескиванию. Для устранения склонности к растрескиванию применяют отжиг.

Технологические данные

Удовлетворительно обрабатывается давлением в горячем и холодном состояниях. Температура прессования 650—700, отжига — 400—600°С. Для снятия внутренних напряжений и устранения чувствительности к коррозионному растрескиванию проводится отжиг при 250—280°С. Температура литья 1150—1180°С.

Применение

Трубопроводы для коррозионно-активных жидкостей.

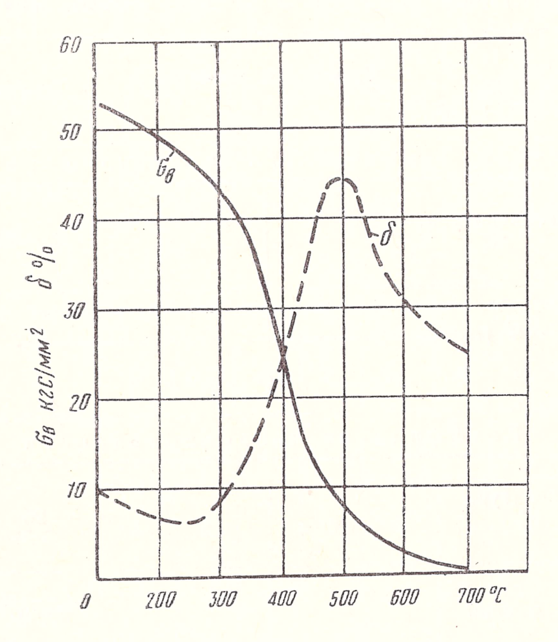


Рис. 1. Механические свойства при высоких температурах прутков диаметром 25 *мм* из латуни ЛО70-1, деформированных на 35%.

Рис. 2. Зависимость механических свойств мягких листов толщиной 1 *мм* из латуни ЛО70-1 от степени деформации и величины зерна (z): ——— z = 0,015 *мм*; — — — z = 0,08 *мм*.

Рис. 3. Зависимость механических свойств листов из латуни ЛО70-1 толщиной 1 *мм*, деформированных на 50%, от температуры отжига и величины зерна (z): ——— z = 0,015 *мм*; — — — z = 0,08 *мм*.

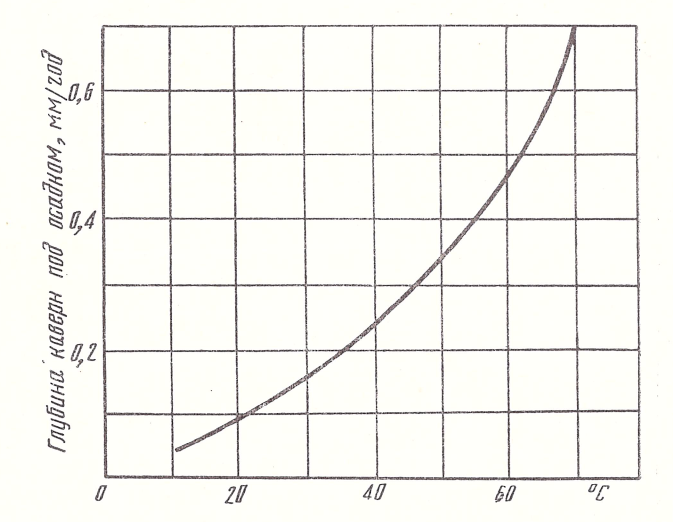


Рис. 4. Зависимость скорости коррозии латуни ЛО70-1 в 3%-ном растворе NaCl от температуры испытания.

ЛАТУНЬ ОЛОВЯННАЯ	ЛО62-1

Химический состав * в %

Cu	Sn	Zn	Fe	Pb	Sb	Bi	P	Сумма примесей
			не более					
61,0—63,0	0,7—1,1	Остальное	0,10	0,10	0,005	0,002	0,01	0,3

* Допускается содержание никеля в количестве до 0,5% (за счет уменьшения содержания меди).

Механические свойства по ГОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ	Состояние	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ_{10} %
Листы	ГОСТ 931—70	Горячекатаные	35	20
Листы и полосы холоднокатаные	ГОСТ 931—70	Твердые	40	5
Прутки диаметром (в *мм*):	ГОСТ			
3— 50	2060—73	Тянутые полутвердые	40	15
10—160		Прессованные	37	20

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10} %	$\tau_{ср}$	HB	$a_н$ *кгс·м/см²*	σ_{-1}* *кгс/мм²*
		кгс/мм²				*кгс/мм²*			
Отливки	Литые	10500	—	35	25	—	82	7	—
Прутки	Прессованные	—	18	40	40	—	100	—	—
Полосы	Твердые	—	36	50	15	40	155	—	14,5
Прутки	Тянутые	—	45	65	10	—	180	—	—

* На базе $1 \cdot 10^7$ циклов.

Механические свойства при высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ_{10} %	*HB* *кгс/мм²*
Прутки	Прессованные	100	42	41	83
		200	41	32	73
		300	37	30	61
		500	21	46	51

Физические свойства

Плотность 8500 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—300
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	20,3

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	20
λ *вт/м · град*	117

Удельное электросопротивление

$\rho \cdot 10^6 = 7{,}0$ *ом · см.*

Удельная теплоемкость

$c = 0{,}377$ *кдж/кг · град.*

Температура плавления 890—900°C.

Коррозионная стойкость

Латунь обладает повышенной коррозионной стойкостью в морской воде. Склонна к растрескиванию, которое устраняется отжигом.

Технологические данные

Латунь удовлетворительно обрабатывается давлением в горячем и холодном состояниях. Температура прокатки и прессования 700—750, отжига — 400—600°C. Для снятия внутренних напряжений и повышения сопротивления коррозионному растрескиванию отжиг проводится при 250—280°C. Температура литья 1060—1100°C. Латунь хорошо сваривается, паяется и обрабатывается резанием.

Применение

Детали, контактирующие в процессе работы с морской водой или бензином.

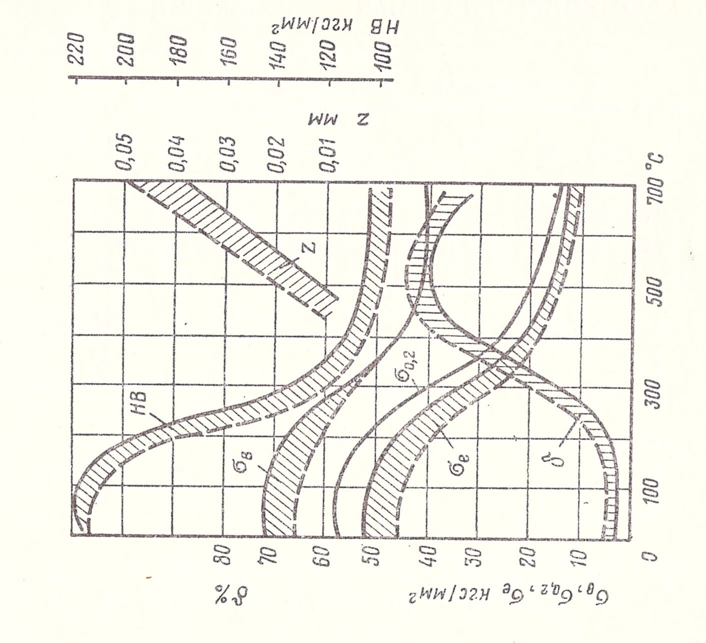


Рис. 2. Зависимость механических свойств ленты толщиной 1 *мм* из латуни ЛО62-1, деформированной на 50%, от температуры отжига и величины зерна (z). Продолжительность отжига 1 *час*:
——— Z = 0,015 *мм*; — ▬ — Z = 0,08 *мм*.

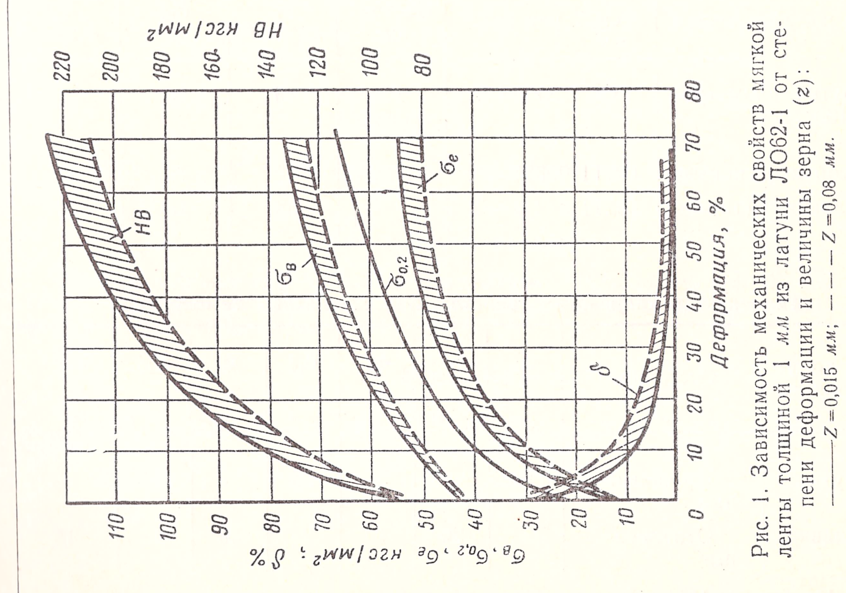


Рис. 1. Зависимость механических свойств мягкой ленты толщиной 1 *мм* из латуни ЛО62-1 от степени деформации и величины зерна (z):
——— Z = 0,015 *мм*; — — — Z = 0,08 *мм*.

ЛАТУНЬ АЛЮМИНИЕВОЖЕЛЕЗНАЯ | ЛАЖ60-1-1 и ЛАЖ60-1-1Л

Химический состав * в %

Марка	Cu	Al	Fe	Mn	Sn
ЛАЖ60-1-1	58,0—61,0	0,75—1,50	0,75—1,50	0,1—0,6	—
ЛАЖ60-1-1Л	58,0—61,0	0,75—1,50	0,75—1,50	0,1—0,6	0,2—0,7

Продолжение

Марка	Zn	Pb	Sb	Bi	P	Сумма примесей
		не более				
ЛАЖ60-1-1	Остальное	0,4	0,005	0,002	0,01	0,7
ЛАЖ60-1-1Л	Остальное	0,4	0,1	—	0,01	0,7

* В латуни ЛАЖ60-1-1 допускается содержание никеля в количестве до 0,5%, в латуни ЛАЖ60-1-1Л — до 1 % (за счет уменьшения содержания меди).

Механические свойства по ОСТ или ГОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ или ОСТ	Состояние	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ_{10} %	*HB* *кгс/мм²*
Прутки диаметром 10—160 *мм*	ГОСТ 2060—73	Прессованные	45	18	—
Отливки (в кокиль)	ОСТ1 90054—72	Литые	42	18	90
Отливки (точное литье)	ОСТ1 90046—72		38	15 *	90

* $l=5d$.

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	*E*	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10}	ψ	*HB*	σ_{-1} *
		кгс/мм²			%		*кгс/мм²*	
Прутки	Прессованные	11500	—	55	25	—	130	
Отливки	Отожженные	—	20	40	25	30	95	15

* На базе $1 \cdot 10^7$ циклов.

Физические свойства

Плотность 8200 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—200	20—300
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	18,4	20,1	21,6

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	20	100	200
λ *вт/м · град*	96	108	112

Удельное электросопротивление

Температура °C	20	100	200
$\rho \cdot 10^6$ *ом · см*	9,0	9,5	11,0

Коррозионная стойкость

Латунь обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, в пресной и морской воде.

Технологические данные

Латунь хорошо обрабатывается давлением. Применяется также для изготовления деталей методом точного литья. Температура прессования 700—750°C, отжига — 500—700°C, литья — 950—1100°C.

Применение

Шестерни, втулки, трубы и другие детали, а также детали, работающие в морской воде.

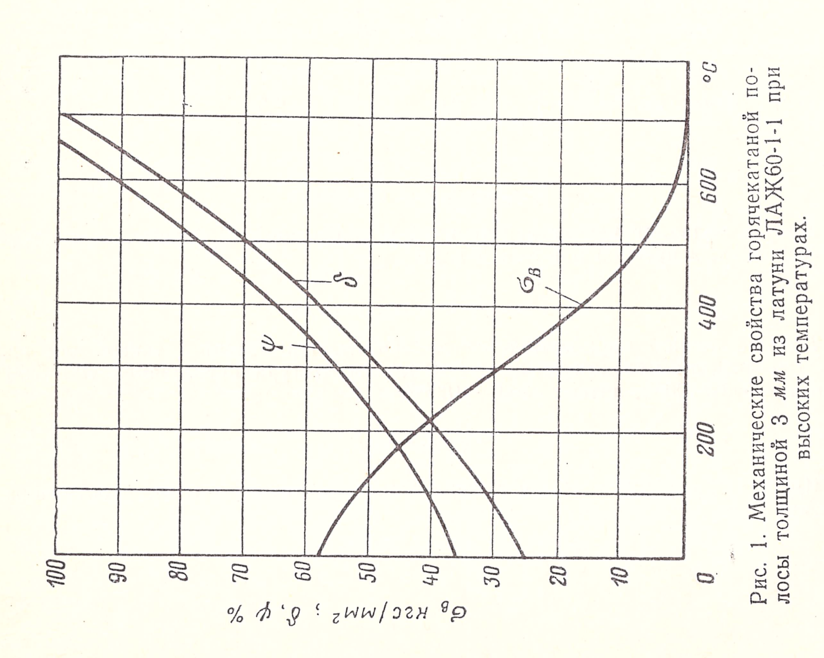


Рис. 1. Механические свойства горячекатаной полосы толщиной 3 *мм* из латуни ЛАЖ60-1-1 при высоких температурах.

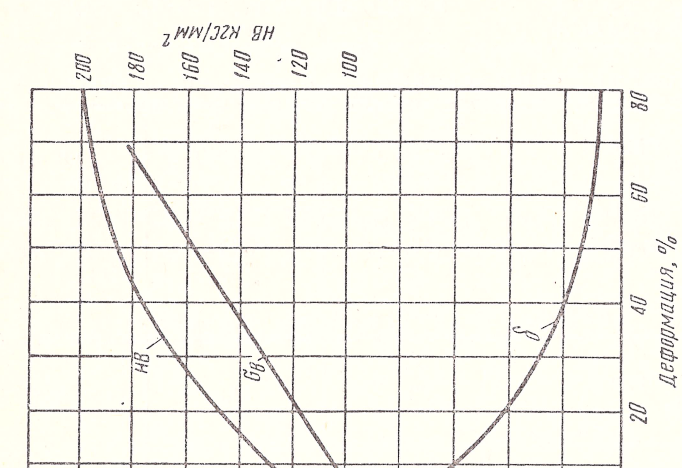


Рис. 2. Зависимость механических свойств мягкой полосы толщиной 3 *мм* из латуни ЛАЖ60-1-1 от степени деформации.

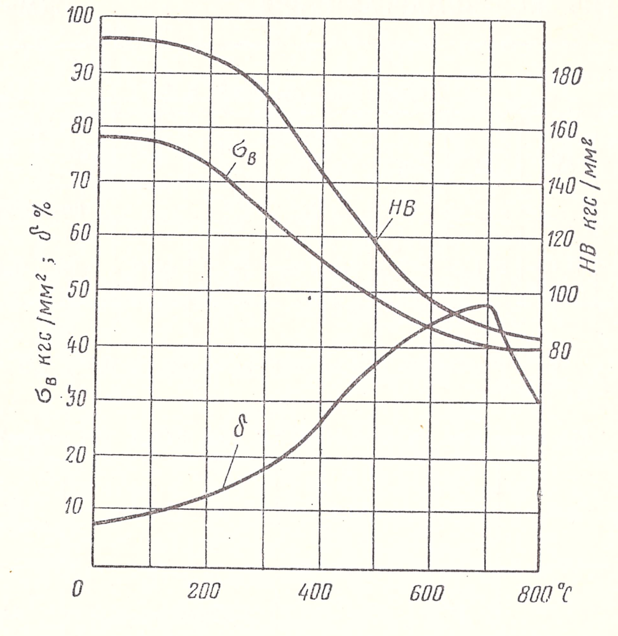


Рис. 3. Зависимость механических свойств полосы толщиной 3 *мм* из латуни ЛАЖ60-1-1, деформированной на 50%, от температуры отжига.

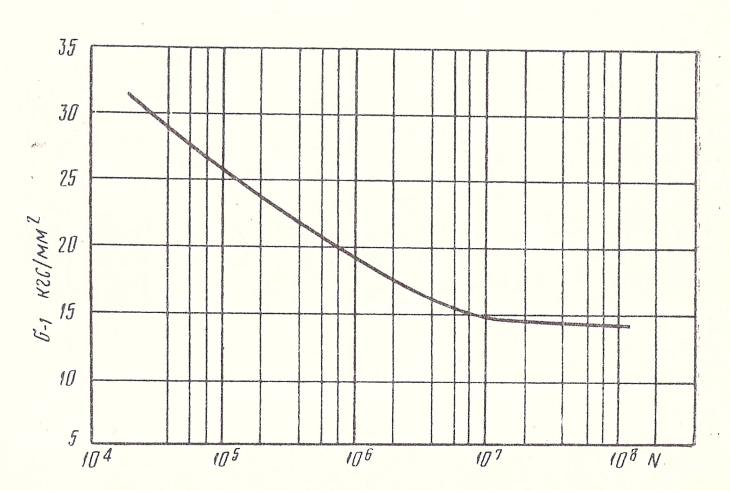


Рис. 4. Кривая выносливости при изгибе литой латуни ЛАЖ60-1-1.

ЛАТУНЬ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦОВАЯ	ЛЖМц59-1-1

Химический состав * в %

Cu	Fe	Mn	Al	Sn	Zn	Pb	Sb	Bi	P	Сумма примесей
						не более				
57,0—60,0	0,6—1,2	0,5—0,8	0,1—0,4	0,3—0,7	Остальное	0,20	0,01	0,003	0,01	0,25

* Допускается содержание никеля в количестве до 0,5% (за счет уменьшения содержания меди).

Механические свойства по ТУ или ГОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ или ГОСТ	Состояние	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ_{10} %
Трубы	ГОСТ 494—69	Прессованные	44	28
Прутки диаметром (в *мм*):	ГОСТ 2060—73			
3—12		Тянутые полутвердые	50	15
св. 12—50			45	17
10—160		Прессованные	44	28
Полосы	ТУ 48-08-446-71	Твердые	50	15

Примечание. Трубы фасонные выпускаются по ТУ 48-08-355-70.

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10}	ψ	$\tau_{ср}$	HB	$a_н$ *кгс·м/см²*
		кгс/мм²			%		*кгс/мм²*		
Прутки	Прессованные	10600	20	50	35	50	30	120	12
	Тянутые	—	40	60	20	—	35	180	—

Физические свойства

Плотность 8500 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—200	20—300
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	22	22,7

Коэффициент теплопроводности

Температура °С	20
λ *вт/м·град*	100

Удельное электросопротивление

$\rho \cdot 10^6 = 7,3$ *ом·см*.

Антифрикционные свойства

Коэффициент трения

со смазкой — 0,012;
без смазки — 0,3.

Коррозионная стойкость

Латунь обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и пресной воде.

Технологические данные

Латунь хорошо деформируется в горячем состоянии и удовлетворительно — в холодном. Температура обработки давлением 700—750, отжига 500—700, литья 1040—1080°С. Хорошо обрабатывается резанием.

Применение

Детали трения: кольца, втулки и другие детали арматуры неответственного назначения

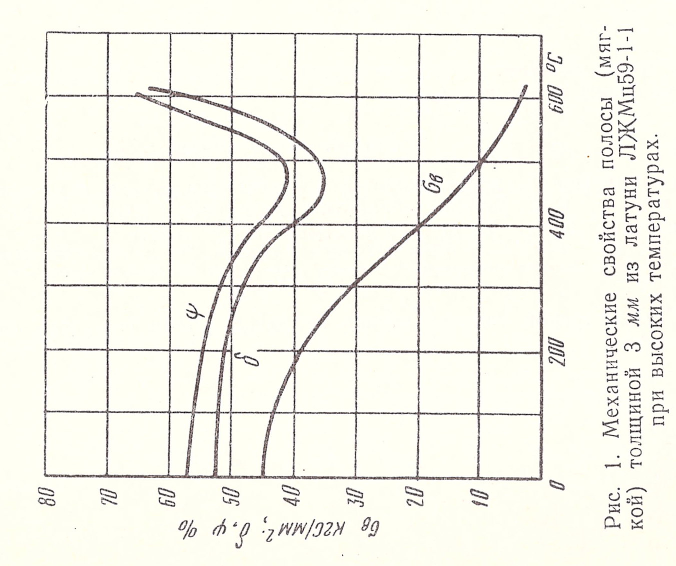


Рис. 1. Механические свойства полосы (мягкой) толщиной 3 *мм* из латуни ЛЖМц59-1-1 при высоких температурах.

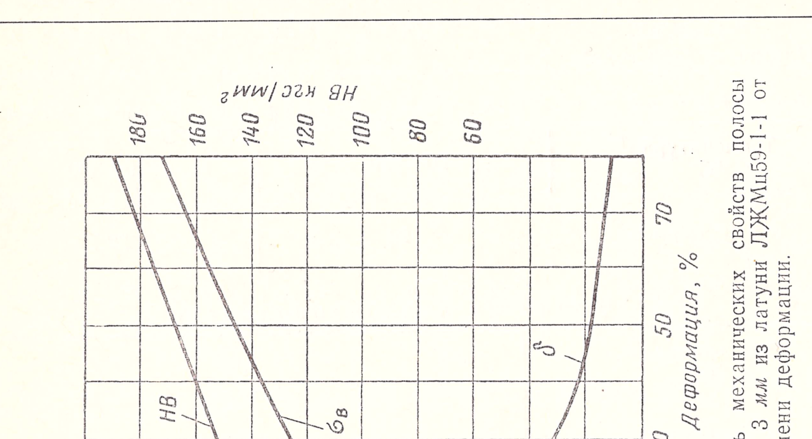


Рис. 2. Зависимость механических свойств полосы (мягкой) толщиной 3 *мм* из латуни ЛЖМц59-1-1 от степени деформации.

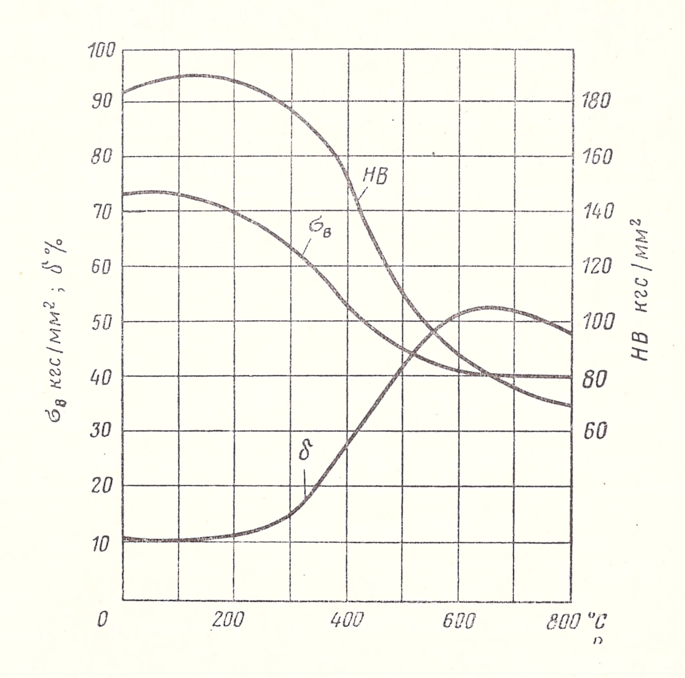


Рис. 3. Зависимость механических свойств полосы из латуни ЛЖМц59-1-1 толщиной 3 *мм*, деформированной на 50%, от температуры отжига.

ЛАТУНЬ АЛЮМИНИЕВАЯ — ЛА67-2,5

Химический состав* в %

Cu	Al	Zn	Pb	Sn	Sb	Fe	Mn	Сумма примесей
			не более					
66,0—68,0	2,0—3,0	Остальное	1,0	1,0	0,1	0,8	0,5	3,4

* Допускается содержание никеля в количестве до 1,0% (за счет уменьшения содержания меди).

Механические свойства по ГОСТ или ОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ или ОСТ	Состояние	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_5 %	HB кгс/мм²
Отливки	ГОСТ 17711—72	Литые			
в кокиль			40	15	90
в землю			30	12	—
Отливки (точное литье)	ОСТ1 90046—72		30	15	90

Физические свойства

Плотность 8500 кг/м³.

Коэффициент теплопроводности

$\lambda = 113$ вт/м · град.

Коррозионная стойкость

Латунь обладает хорошей коррозионной стойкостью.

Технологические данные

Температура литья 950—1050°С; линейная усадка 1,8%. Жидкотекучесть: длина спирали 90 см. Латунь удовлетворительно обрабатывается резанием.

Применение

Различные детали арматуры, фасонные детали приборов и агрегатов.

ЛАТУНЬ КРЕМНИСТАЯ — ЛК80-3 и ЛК80-3Л

Химический состав* в %

Марка	Cu	Si	Zn	Fe	Pb
				не более	
ЛК80-3	79,0—81,0	2,5—4,0	Остальное	0,6	0,1
ЛК80-3Л	79,0—81,0	2,5—4,5	»	0,6	0,5

Продолжение

Марка	Sb	Bi	P	Mn	Sn	Al	Сумма примесей
	не более						
ЛК80-3	0,05	0,003	0,02	0,5	0,2	0,1	1,5
ЛК80-3Л	0,1	—	—	1,0	0,3	0,1	2,8

* В латуни ЛК80-3 допускается содержание никеля в количестве до 0,5% (за счет уменьшения содержания меди); в латуни ЛК80-3Л — до 0,2% (за счет снижения суммы примесей).

Механические свойства по ГОСТ или ОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ или ОСТ	Состояние	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_5 %	HB кгс/мм²
Отливки	ГОСТ 17711—72	Литые			
в кокиль			30	15	100
в землю			30	15	110
Точные отливки	ОСТ1 90046—72	Литые	25	10	90

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10}	HB кгс/мм²	$a_н$ кгс · м/см²	σ_{-1}* кгс/мм²
		кгс/мм²			%			
Отливки в кокиль	Литые	10000	12	40	15	90	12	15

* На базе $1 \cdot 10^8$ циклов.

Физические свойства

Плотность 8350 *кг/м*³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—200	20—300
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	17	18	19,1

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	20
λ *вт/м · град*	29,3

Удельное электросопротивление

Температура °C	20	100	200	300
$\rho \cdot 10^6$ *ом · см*	27	29	31	33

Удельная теплоемкость

$c = 0{,}377$ *кдж/кг · град*.

Температура плавления 820—915°C.

Коррозионная стойкость

Латунь обладает хорошей коррозионной стойкостью. Скорость коррозии в морской воде — 0,011 *мм/год*.

Технологические данные

Латунь применяется в литом и деформированном состоянии. Рекомендуемая температура литья 950—1000°C. Линейная усадка 1,7%. Жидкотекучесть: длина спирали 90 *см*. Обрабатывается давлением в горячем и холодном состояниях. Температура горячей обработки 750—850°C. Хорошо обрабатывается резанием. Для снятия напряжений рекомендуется отпуск при 250—280°C.

Применение

Фасонные детали приборов и агрегатов.

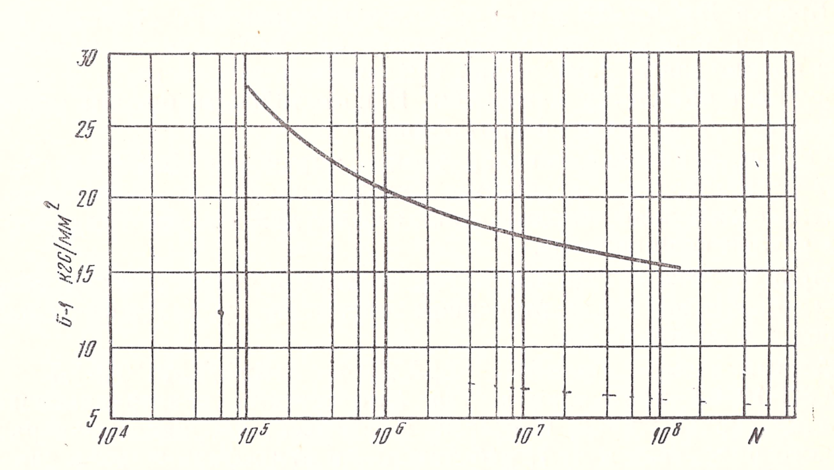


Рис. 1. Кривая выносливости при изгибе латуни ЛК80-3.

Бронзы

Бронзы представляют собой сплавы меди, содержащие в качестве основной легирующей добавки какой-либо металл, кроме цинка.

К группе конструкционных бронз относятся бронзы оловяннофосфористые, оловянносвинцовоцинковые, алюминиевожелезные, алюминиевомарганцовистые и алюминиевожелезоникелевые.

Для изготовления силовых коррозионностойких деталей и арматуры, а также деталей, работающих на трение, применяются деформируемые оловянистые и алюминиевые бронзы.

Оловяннофосфористая бронза БрОФ6,5-0,15 обладает после деформации высокой прочностью и упругостью и применяется для изготовления пружинящих деталей приборов.

Бронза БрОФ7-0,2 имеет высокие механические свойства при комнатной и повышенных температурах. Выпускается только в виде прессованных прутков, так как повышенное содержание олова затрудняет обработку давлением. Износостойкость бронзы можно повысить путем холодной протяжки.

Оловянносвинцовоцинковая бронза марки БрОЦС4-4-2,5 обладает пластичностью, хорошими антифрикционными свойствами и выпускается в виде холоднокатаных полос для изготовления свертных втулок подшипников.

Бронзы всех указанных марок хорошо обрабатываются резанием, особенно в нагартованном состоянии, удовлетворительно паяются и свариваются.

Алюминиевые бронзы БрАЖ9-4, БрАЖМц10-3-1,5 и БрАЖН10-4-4 применяются для изготовления конструкционных деталей (кронштейнов, шестерен, коромысел, направляющих различного рода, гаек и др.), работающих в атмосферных условиях и других средах, где требуются высокая прочность и хорошая коррозионная стойкость. Эти сплавы отличаются высокими механическими свойствами при низких и высоких температурах и мало окисляются при высоких температурах.

Алюминиевые бронзы применяются как в виде деформированных полуфабрикатов, так и в литом состоянии.

Твердость алюминиевых бронз, содержащих 10—11% Al, можно изменять путем закалки и отпуска. При меньшем содержании алюминия старение бронз незначительно. При повышении температуры закалки и снижении температуры отпуска значительно уменьшается относительное удлинение (при небольшом возрастании предела прочности).

При медленном охлаждении бронз БрАЖ9-4 и БрАЖМц10-3-1,5 до температур ниже 600°C (при литье крупных деталей) может возникнуть повышенная хрупкость металла. Однако ее можно

предупредить, охлаждая отливки на воздухе с температуры ~700°C.

Горячую ковку или штамповку алюминиевых бронз производят при 700—900°C. Алюминиевые бронзы поставляются в виде горячепрессованных полуфабрикатов, так как при холодной деформации в результате быстрого упрочнения сплавы теряют пластичность.

Бронзу БрАЖ9-4 можно чеканить, расклепывать и подвергать другим видам холодной деформации в пределах 10—12%.

Алюминиевые бронзы хорошо поддаются механической обработке.

Алюминиевые бронзы применяют для изготовления деталей, работающих при повышенных температурах.

БРОНЗЫ ОЛОВЯННОФОСФОРИСТЫЕ	БрОФ6,5-0,15; БрОФ7-0,2

Химический состав в %

Марка	Sn	P	Cu	Fe	Pb	Sb	Bi	S	Al	Si	Сумма примесей
				не более							
БрОФ6,5-0,15	6—7	0,1—0,25	Остальное	0,02	0,02	0,002	0,002	—	0,002	0,002	0,1
БрОФ7-0,2	7—8	0,10—0,25		0,05	0,02	0,01	0,002	0,002	0,01	0,02	0,1

Примечание. Допускается содержание цинка в количестве до 0,3 и никеля до 0,2% за счет уменьшения содержания меди

Механические свойства по ТУ, ОСТ или ГОСТ (не менее)

Марка	Вид полуфабриката	ТУ, ОСТ или ГОСТ	Состояние	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ_{10}, %	HB, кгс/мм²
БрОФ6,5-0,15	Полосы и лента	ГОСТ 1761—70 *	Мягкие	30	38	—
			Полутвердые	45—58	10	—
			Твердые	58	5	—
			Особо твердые	70	—	—
	Лента	ТУ 48-08-390-71	Твердая	—	5—16	—
	Лента	ТУ 48-21-155-72	Термообработанная	60	10	—
	Отливки (точное литье)	ОСТ1 90046—72	Литые	25	25 ($l=5d$)	60
	Полосы	ЦМТУ 08-186-69	Особо твердые	70—85	—	—

Продолжение

Марка	Вид полуфабриката	ТУ, ОСТ или ГОСТ	Состояние	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ_{10}, %	HB, кгс/мм²
	Прутки диаметром (мм):	ГОСТ 10025—62	Тянутые			
БрОФ6,5-0,15	6—20			42	15	—
БрОФ7-0,2	16—40			45	15	130—200
	Прутки диаметром (мм):		Прессованные			
БрОФ6,5-0,15	40—95			37	55	70
БрОФ7-0,2	100—110			35	55	—

* Срок действия до 1974 года.

Примечание. Полосы твердые и особо твердые толщиной 0,15—0,2 *мм* с глубиной лунки при выдавливании 4—5,5 *мм* выпускаются по ТУ 48-08-274-70; лента с величиной зерна 0,025—0,05 *мм* — по ТУ 48-21-266-73.

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Марка	Вид полуфабриката	Состояние	E	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_5	$\sigma_{0,005}$ при изгибе	HV	σ_{-1} *
			кгс/мм²			%	кгс/мм²		
БрОФ6,5-0,15	Полосы и лента	Мягкие	11000	15	35	65	13	70	16
		Твердые	—	54	63	12	34	170	20
		Особо твердые	—	68	75	3	43	220	22
БрОФ7-0,2	Полосы и лента	Мягкие	11200	15	42	65	—	95	17
		Твердые	—	56	65	11	—	196	20
		Особо твердые	—	76	80	2,5	—	225	21

* Для круглых образцов на базе $1 \cdot 10^8$ циклов.

Релаксационная стойкость бронзы БрОФ6,5-0,15

Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{нач}$ *кгс/мм²*	Остаточное напряжение (σ_R) (*кгс/мм²*) за время				
			100 *час*	300 *час*	1000 *час*	10000 *час*	50000 *час*
Деформированное на 55%	20	27,5	27,5	—	27	26,5	25,5
	100	40	—	31	—	—	—
	150	40	—	21	—	—	—
	200	40	—	8	—	—	—
Деформированное на 55% и отпущенное	20	38	38	—	35,5	35	34
	100	40	—	38	—	—	—

Физические свойства

Свойства	БрОФ6,5-0,15	БрОФ7-0,2
Плотность, *кг/м³*	8850	8800
Коэффициент термического линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ *1/град* (20—300°)	17,8	18,2
Коэффициент теплопроводности λ *вт/м · град*	71,0	62,8
Удельное электросопротивление $\rho \cdot 10^6$ *ом · см*	9,5	13,0
Удельная теплоемкость *с кдж/кг · град*	0,377	0,377

Коррозионная стойкость

Бронзы обладают хорошей коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и в морской воде. Скорость коррозии в морской воде 0,041 *мм/год*.

Технологические данные

Бронзы хорошо обрабатываются давлением. Рекомендуемая температура горячей обработки 750—800, отжига — 600—650, низкотемпературного отжига — 250—280°С.

Хорошо свариваются и паяются. Легко обрабатываются резанием.

Применение

Бронза БрОФ6,5-0,15 применяется для пружинных контактов, мембран, а также для получаемых методом точного литья мелких деталей приборов.

Из бронзы БрОФ7-0,2 изготовляют детали, работающие на трение при средних нагрузках и скоростях скольжения, шайбы антифрикционного назначения, подшипники.

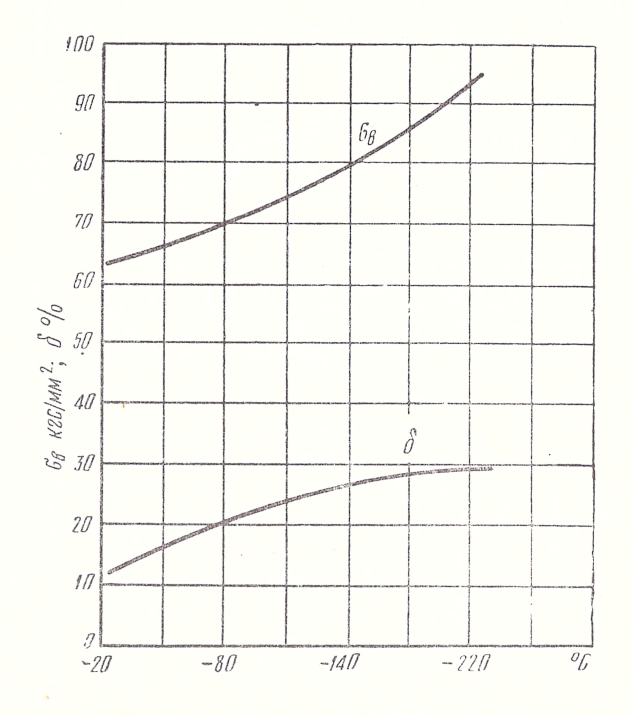


Рис. 1. Механические свойства твердых листов из бронзы БрОФ6,5-0,15 при низких температурах.

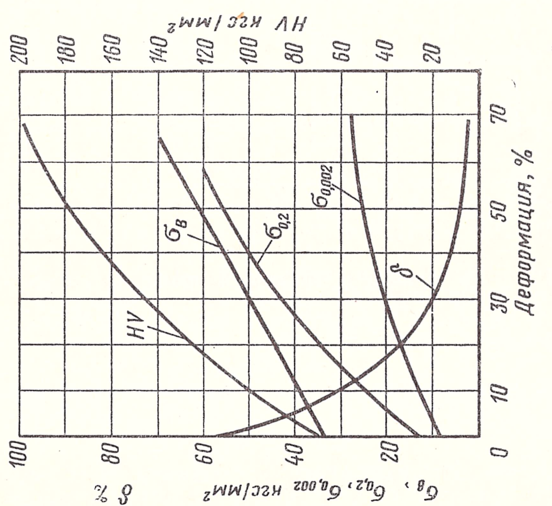


Рис. 2. Зависимость механических свойств ленты из бронзы БрОФ6,5-0,15 при комнатной температуре от степени деформации.

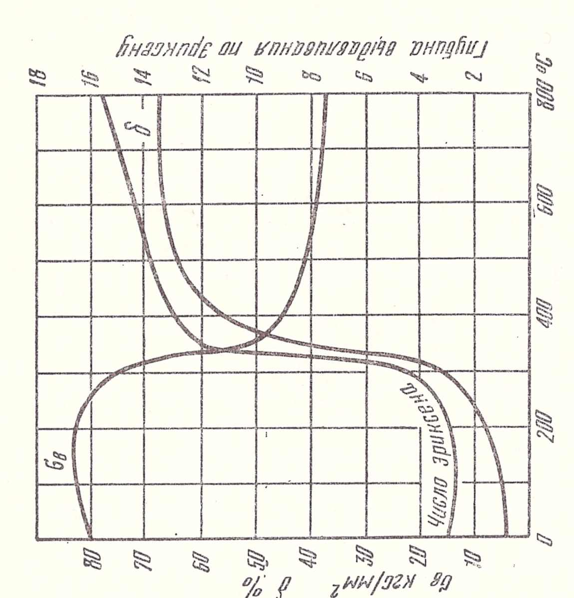


Рис. 3. Зависимость механических свойств ленты из бронзы БрОФ6,5-0,15 от температуры отжига.

БРОНЗА ОЛОВЯННОСВИНЦОВОЦИНКОВАЯ	БрОЦС4-4-2,5

Химический состав в %

Sn	Zn	Pb *	Cu	Fe	Sb	Bi	Al	P	Сумма примесей
				не более					
3,0—5,0	3,0—5,0	1,5—3,5	Основа	0,05	0,002	0,002	0,002	0,03	0,2**

* Бронза может содержать 3,5—4,5% Pb, в этом случае ее марка будет БрОЦ4-4-4.

** Примеси серы и магния допускаются в количестве не более 0,002% каждого элемента.

Механические свойства по ГОСТ или ТУ (не менее)

Марка сплава	Вид полуфабриката	ГОСТ или ТУ	Состояние	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ %	HB кгс/мм²
БрОЦС4-4-2,5	Лента и полосы	ГОСТ 15885—70	Мягкие	30	35	—
			Полутвердые	40—50	10	—
			Твердые	55	5	—
БрОЦС4-4-4	Полосы толщиной 0,9—1,95 мм	ТУ 48-21-210-72	Полутвердые	40	10	65—85

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	$\sigma_{пц}$	$\sigma_{0,5}$	$\sigma_в$	δ_{10} %	HB кгс/мм²
		кгс/мм²					
Полосы	Мягкие	—	8	13,5	32	45	60
	Полутвердые	—	—	28	45	20	120
	Твердые	8000	—	—	60	6	170

Физические свойства

Плотность 8800 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—300
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	18	19

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	20
λ *вт/м·град*	83,7

Удельное электросопротивление

$\rho \cdot 10^6 = 9{,}0$ *ом·см*.

Удельная теплоемкость

$c = 0{,}377$ *кдж/кг·град*.

Коррозионная стойкость

Бронза обладает хорошей коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и пресной воде.

Технологические данные

Бронза обрабатывается давлением только в холодном состоянии с деформацией до 30%. Отжиг проводится при 500—600°C. Температура литья 1100—1200°C. Хорошо обрабатывается резанием и паяется.

Применение

Свертные втулки, диски, прокладки.

БРОНЗА АЛЮМИНИЕВОЖЕЛЕЗНАЯ	БрАЖ9-4 и БрАЖ9-4Л

Химический состав в %

Марка	Al	Fe	Cu	As	Sb	Sn
				не более		
БрАЖ9-4	8,0—10,0	2,0—4,0	Основа	0,01	0,002	0,1
БрАЖ9-4Л	8,0—10,0	2,0—4,0	Основа	0,05	0,05	0,2

Продолжение

Марка	Si	Ni	Pb	P	Zn	Mn	Сумма примесей
	не более						
БрАЖ9-4	0,1	0,5	0,01	0,01	1,0	0,5	1,7
БрАЖ9-4Л	0,2	0,1	0,1	0,1	1,0	0,5	2,7

Механические свойства по ГОСТ или ОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ или ОСТ	Состояние	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ_{10} %	*HB* *кгс/мм²*
Прутки диаметром (в *мм*):	ГОСТ 1628—72	Прессованные			
16—120			55	15	110—180
130—160			50	12	110—180
Отливки (точное литье)	ОСТ1 90046—72	Литые	40	10 ($l=5\,d$)	100
Отливки	ГОСТ 493—54	Литые			
в землю			40	10	100
в кокиль			50	12	100

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10}	ψ
		кгс/мм²			%	
Отливки (в кокиль)	Литые	—	20	50	15	30
Прутки	Прессованные	11600	30	60	20	—
Листы	Мягкие	11200	30	60	25	—
	Твердые (деформированные на 40%)	—	60	85	10	—
	Твердые (деформированные на 70%)	—	—	95	3	—

Продолжение

Вид полуфабриката	Состояние	$\sigma_{в\ сж}$	$\tau_{ср}$	HB	$a_н$ кгс·м/см²	σ_{-1} * кгс/мм²
		кгс/мм²				
Отливки (в кокиль)	Литые	100	35	125	6	—
Прутки	Прессованные	115	38	140	—	21
Листы	Мягкие	—	—	140	—	—
	Твердые (деформированные на 40%)	—	—	220	—	—
	Твердые (деформированные на 70%)	—	—	240	—	—

* На базе $5 \cdot 10^7$ циклов.

Физические свойства

Плотность 7450 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—100	20—300
$\alpha \cdot 10^6$ 1/*град*	18	19

Коэффициент теплопроводности

$\lambda = 78{,}0$ *вт/м·град*.

Удельное электросопротивление

$\rho \cdot 10^6 = 16{,}3$ *ом·см*.

Антифрикционные свойства

Коэффициент трения

со смазкой маслом МС 0,012;
без смазки 0,18.

Коррозионная стойкость

Бронза обладает высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Бронза применяется в литом и деформированном состояниях. Рекомендуемая температура литья в кокиль 1120—1240, фасонного — 1060—1100°С. Линейная усадка 2,5%; жидкотекучесть — длина спирали 85 *см*. Хорошо обрабатывается давлением (прессование, ковка в горячем состоянии). Температура горячей обработки 750—850, отжига — 700—750°С.

Бронза удовлетворительно сваривается и обрабатывается резанием; паяется с трудом.

Применение

Шестерни, фланцы, шайбы, упорные кольца, опорные пяты, ниппели, диски, гайки, секторы управления, кронштейны, коронки стабилизаторов, литая арматура и фасонные детали.

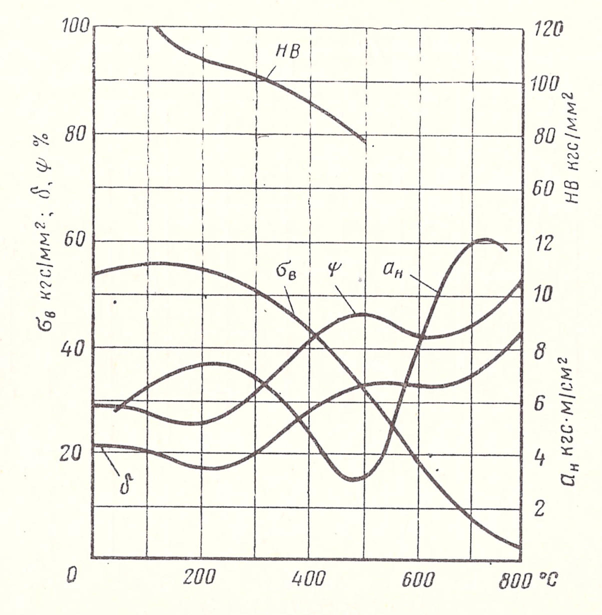


Рис. 1. Механические свойства бронзы БрАЖ9-4 при высоких температурах.

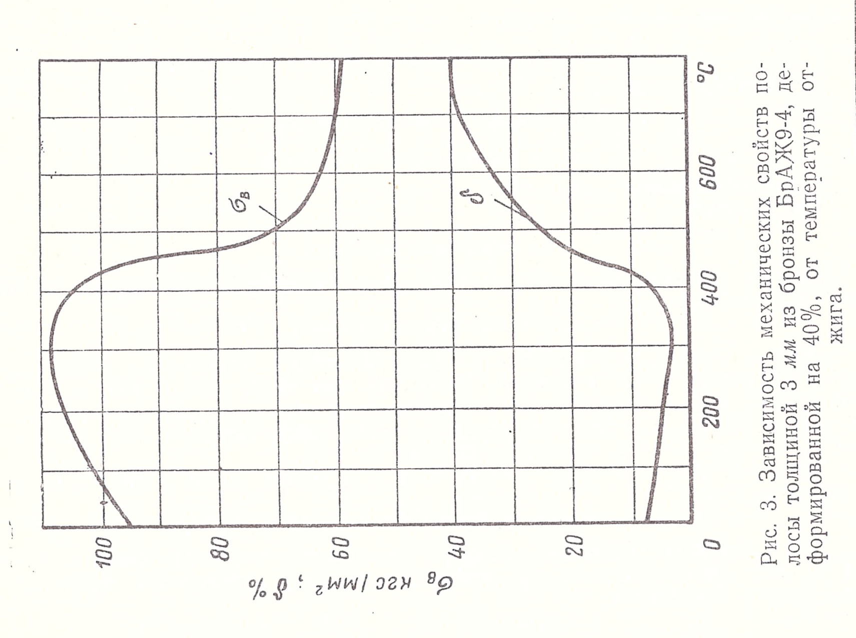


Рис. 3. Зависимость механических свойств полосы толщиной 3 мм из бронзы БрАЖ9-4, деформированной на 40%, от температуры отжига.

Рис. 2. Зависимость механических свойств отожженной полосы из бронзы БрАЖ9-4 от степени деформации.

БРОНЗА АЛЮМИНИЕВОЖЕЛЕЗОНИКЕЛЕВАЯ	БрАЖН10-4-4 и БрАЖН10-4-4Л

Химический состав в %

Марка	Al	Fe	Ni	Cu
БрАЖН10-4-4 *	9,5—11,0	3,5—5,5	3,5—5,5	Основа
БрАЖН10-4-4Л	9,5—11,0	3,5—5,5	3,5—5,5	Основа

Продолжение

Марка	As	Sb	Sn	Si	Pb	P	Zn	Mn	Сумма примесей
	не более								
БрАЖН10-4-4 *	0,01	0,002	0,1	0,1	0,02	0,01	0,3	0,3	0,8
БрАЖН10-4-4Л	0,05	0,05	0,2	0,2	0,05	0,1	0,5	0,5	1,5

* В бронзе, обрабатываемой давлением, допускается содержание алюминия до 11,5%; при этом содержание железа и никеля должно быть не менее 4% каждого.

Механические свойства по ГОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ	Состояние	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_{10} %	HB кгс/мм²
Отливки (в кокиль)	ГОСТ 493—54	Литые	60	5	170
Прутки диаметром 20—160 мм	ГОСТ 1628—72	Прессованные	65	5	170—220
Трубы	ГОСТ 1208—73	—	65	5	170—220

Примечание. Прутки с содержанием 10—11% Al выпускаются по ТУ 48-08-326-70.

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10}	ψ	$\tau_{ср}$	HB	$a_н$ кгс · м/см²	σ_{-1} * кгс/мм²
		кгс/мм²			%		кгс/мм²			
Отливки (в кокиль)	Литые	11500	28	65	8	12	45	180	2	22
	Термически обработанные	12500	35	70	6	—	—	200	—	—
Прутки	Прессованные	—	35	70	10	15	—	180	—	25
	Прессованные, закаленные и отпущенные, 350°С, 1,5 *час* **	12500	—	85	—	—	—	280	—	—
	То же, отпущенные, 650°С, 1,5 *час*	—	—	75	6	—	—	200	—	—

* На базе $5 \cdot 10^7$ циклов.

** Закалка с 900°С в воде.

Механические свойства при высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10}	ψ	HB кгс/мм²	$a_н$ кгс · м/см²
			кгс/мм²		%			
Отливки (в кокиль)	Литые	100	27	65	10	12	180	4
		200	25	65	10	15	180	4
		300	23	50	10	17	170	4
		500	21	30	8	19	75	1,5

Длительная прочность и ползучесть при различных температурах (для прессованных прутков), $\sigma_в = 80$ *кгс/мм²*; $\sigma_{0,2} = 55$ *кгс/мм²*

Температура испытания °С	$\sigma_в$	$\sigma_{0,05/100}$	$\sigma_{0,1/100}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,5/100}$	$\sigma_{/100}$	$\sigma_{0,05/500}$	$\sigma_{0,1/500}$	$\sigma_{0,2/500}$	$\sigma_{0,5/500}$	$\sigma_{/500}$	$\sigma_{0,05/1000}$	$\sigma_{0,1/1000}$	$\sigma_{0,2/1000}$	$\sigma_{0,5/1000}$	$\sigma_{/1000}$
	кгс/мм²															
200	50	18	23	28	35	44	11,5	13	18	27	37	10,5	12	15,5	22	33
300	35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7	8	—	—

Физические свойства

Плотность 7700 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—400
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	19,1

Коэффициент теплопроводности

$\lambda = 42$ *вт/м · град*.

Удельное электросопротивление

$\rho \cdot 10^6 = 20$ *ом · см*.

Коррозионная стойкость

Бронза обладает высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, в пресной и морской воде.

Технологические данные

Бронза применяется в литом и деформированном состояниях.

Температура литья 1120—1200°С; линейная усадка 2,0%. Обработка давлением производится при 875—900°С. Термическая обработка: закалка с 900°С (нагрев 2 *час*) в воде; отпуск при 400°С — 1,5 *час*, а для получения высокой ударной вязкости — при 650°С — 2 *час*.

Применение

Детали, работающие при высоких температурах: шестерни, втулки, гайки, шаровые пяты и фланцы.

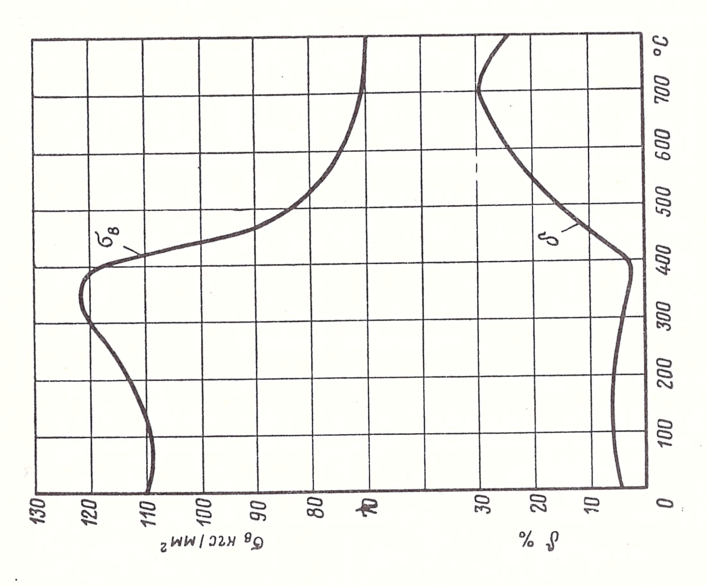


Рис. 2. Зависимость механических свойств полосы из бронзы БрАЖН10-4-4 толщиной 3 *мм*, деформированной на 40%, от температуры отжига в течение 1 *час*.

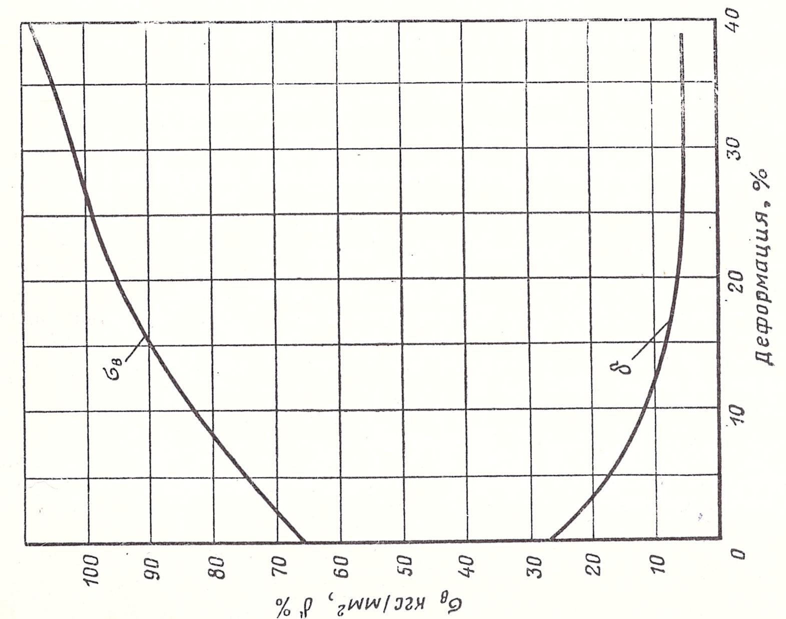


Рис. 1. Зависимость механических свойств полосы толщиной 3 *мм* из бронзы БрАЖН10-4-4, отожженной при 800°C в течение 1 *час*, от степени деформации.

БРОНЗА АЛЮМИНИЕВОЖЕЛЕЗОМАРГАНЦОВИСТАЯ	**БрАЖМц10-3-1,5**

Химический состав * в %

Al	Fe	Mn	Cu	As	Sb	Sn	Si	Ni	Pb	P	Zn	Сумма примесей
				не более								
9,0—11,0	2,0—4,0	1,0—2,0	Основа	0,01	0,002	0,1	0,1	0,5	0,03	0,01	0,5	0,75

* Допускается содержание цинка в количестве до 1% в тех случаях, когда сплав не применяется как антифрикционный, общая сумма примесей при этом не должна превышать 1,25%; при использовании бронзы для фасонного литья допускается содержание свинца в количестве до 0,3%; общая сумма примесей при этом может достигать 1,0%.

Механические свойства по ГОСТ, ТУ или ОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ, ТУ или ОСТ	Состояние	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ_{10} %	*HB* *кгс/мм²*
Прутки диаметром 16—160 *мм*	ГОСТ 1628—72	Прессованные	60	12	130—200
Прутки	ЦМТУ 08-23-67	Прессованные	55	15	129—165
Трубы	ГОСТ 1208—73	Тянутые	60	12	140—200
Отливки (точное литье)	ОСТ1 90046—72	Литые	45	10 ($l=5d$)	110
Отливки (в кокиль)	ГОСТ 493—54	То же	50	20	120

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10}	ψ	$\tau_{ср}$	HB	$a_н$ кгс·м/см²
		кгс/мм²			%		кгс/мм²		
Отливки (литье в кокиль)	Литые	10500	22	55	20	25	38	135	7
Прутки	Прессованные	10500	35	65	15	—	—	160	—
	Закаленные	—	—	80	2,5	—	—	225	—
	Закаленные и отпущенные	—	—	83	3,5	—	—	285	—

Физические свойства

Плотность 7500 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—400
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	16	20

Коэффициент теплопроводности

$\lambda = 58{,}6$ *вт/м·град.*

Удельное электросопротивление

$\rho \cdot 10^6 = 19{,}0$ *ом·см.*

Антифрикционные свойства

Коэффициент трения

со смазкой маслом МС 0,01;
без смазки 0,2.

Коррозионная стойкость

Бронза обладает высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, в пресной и морской воде.

Технологические данные

Бронза применяется в литом и деформированном состояниях. Рекомендуемая температура литья 1120—1150°С. Линейная усадка 2,4%; жидкотекучесть: длина спирали 70 *см*. Хорошо обрабатывается давлением в горячем состоянии; температура горячей обработки 775—825, закалки — 850—880 и отпуска — 300—350°С.

Бронза удовлетворительно сваривается и обрабатывается резанием; паяется с трудом.

Применение

Коромысла, втулки, маховики, диски, обоймы и гайки крепления подшипников, направляющие траверс, ниппели, шестерни.

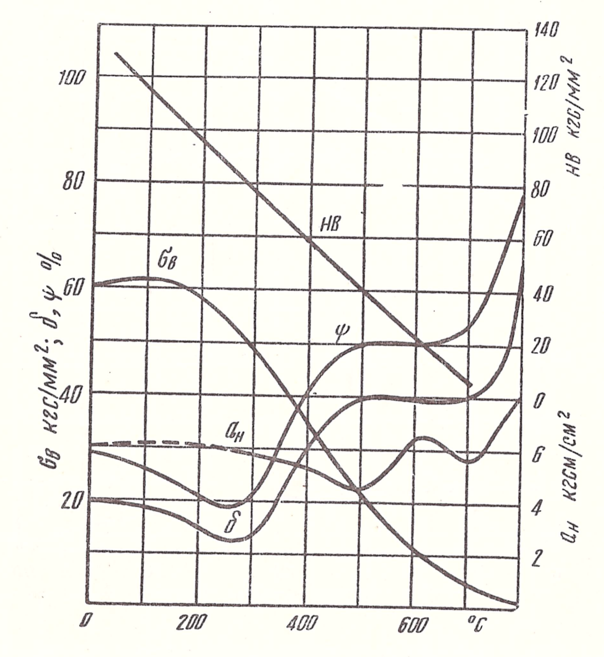


Рис. 1. Механические свойства бронзы БрАЖМц10-3-1,5 при высоких температурах.

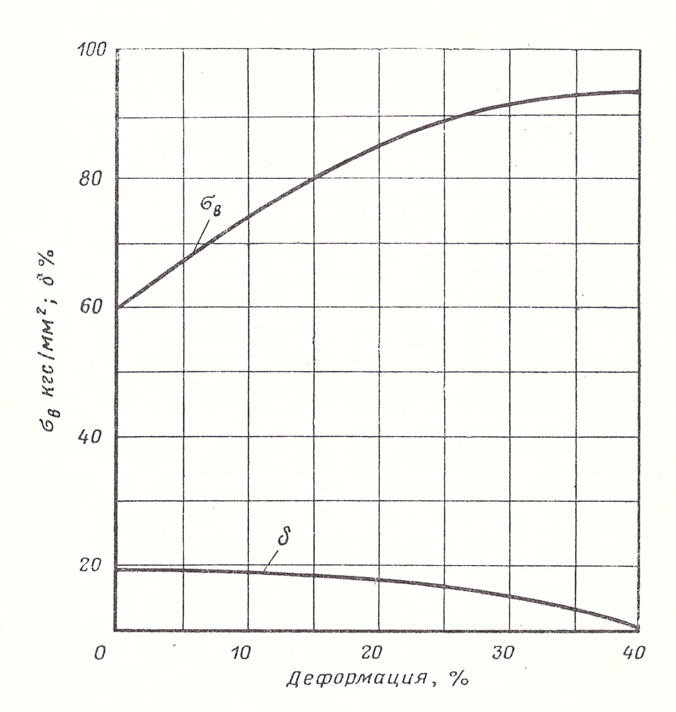


Рис. 2. Зависимость механических свойств горячекатаной полосы толщиной 3 *мм* из бронзы БрАЖМц10-3-1,5 от степени деформации.

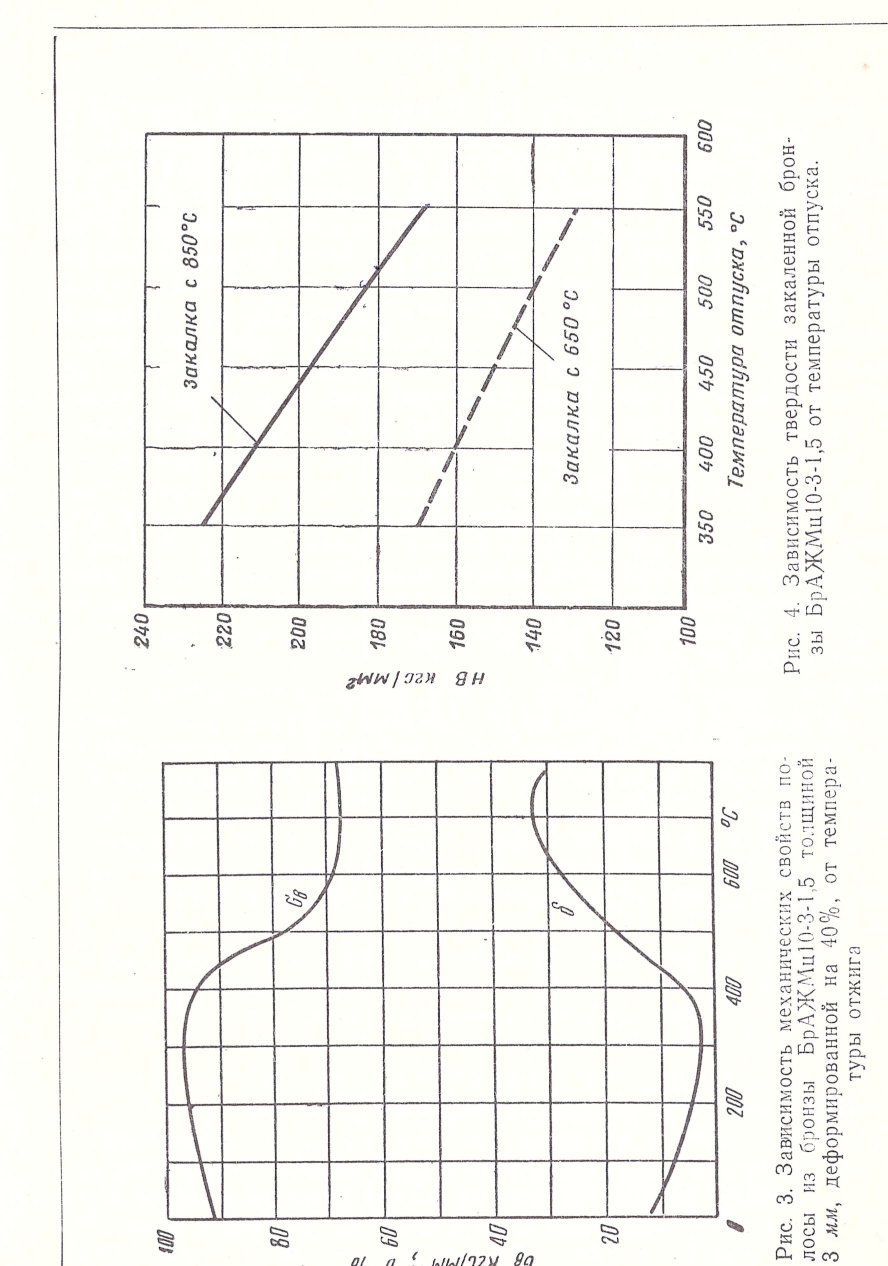


Рис. 4. Зависимость твердости закаленной бронзы БрАЖМц10-3-1,5 от температуры отпуска.

Рис. 3. Зависимость механических свойств полосы из бронзы БрАЖМц10-3-1,5 толщиной 3 *мм*, деформированной на 40%, от температуры отжига

ЖАРОПРОЧНЫЕ МЕДНЫЕ СПЛАВЫ

Жаропрочные бронзы БрКН1-3, МНА13-3, БрХ0,5 и ВБр1 представляют собой сплавы меди с элементами, увеличивающими ее прочность при высоких температурах благодаря повышению температуры плавления (действие никеля, неограниченно растворимого в меди) или образованию высокодисперсной смеси фаз в результате закалки и отпуска. В этом случае выпадающие тугоплавкие фазы (металлы или интерметаллидные соединения) затрудняют течение сплава под действием нагрузки при высокой температуре, блокируя границы зерен. Таково действие хрома, железа, кобальта, плохо растворимых в твердом растворе, а также целого ряда интерметаллидных соединений (Cr_2Zr, Ni_3Al, CoBe, NiBe, Ni_2Si и др.), образующих с медью псевдобинарные сплавы.

К числу жаропрочных бронз относятся дисперсионно-твердеющие сплавы меди с никелем и алюминием — куниали, содержащие до 13% Ni и обладающие высокой прочностью и стойкостью в коррозионно-активных средах, кремнистоникелевая бронза БрКН1-3, упрочняющаяся за счет образования силицидов никеля, а также алюминиевая бронза БрАЖН10-4-4 с 4% Ni и 4% Fe, широко используемая в качестве конструкционного материала (см. стр. 81 настоящего справочника).

Особую группу составляют сплавы, обладающие наряду с высокой жаропрочностью и повышенной температурой рекристаллизации высокой тепло- и электропроводностью. К их числу относятся бронзы хромистая, циркониевая и кобальтоникелевая (ВБр1).

Так, теплопроводность бронзы БрХ0,5 при 500°С составляет 90%, а более жаропрочной бронзы ВБр1 — 80% от теплопроводности чистой меди, в то время как теплопроводность бронз, содержащих значительное количество никеля, алюминия и кремния, — не более 25%.

Твердость указанных сплавов в горячем состоянии мало меняется в зависимости от продолжительности выдержки под нагрузкой (рис. 1). Наибольшей твердостью обладают сплавы типа куниаль (МНА13-3).

Из числа жаропрочных и высокотеплопроводных сплавов наибольшей прочностью обладает бронза ВБр1 (рис. 2).

Сочетание жаропрочности с высокой тепло- и электропроводностью обеспечивается минимальным содержанием компонентов в твердом растворе меди. Эти сплавы содержат весьма малое количество легирующих элементов, в сумме не превышающих 1%. Из сплавов данной группы наибольший интерес представляет бронза циркониевая, обладающая более высокой жаропрочностью и значительно большей крипоустойчивостью, чем бронза хромистая (рис. 3). Эта бронза не имеет падения пластичности при повышенных температурах, характеризуется более мелким кристаллическим строением и менее склонна к росту зерна при высоких температурах.

Указанные сплавы применяются для электродов сварочных машин, для изготовления коллекторов специальных электромоторов, а также теплоотводящих и других деталей, работающих при высоких температурах.

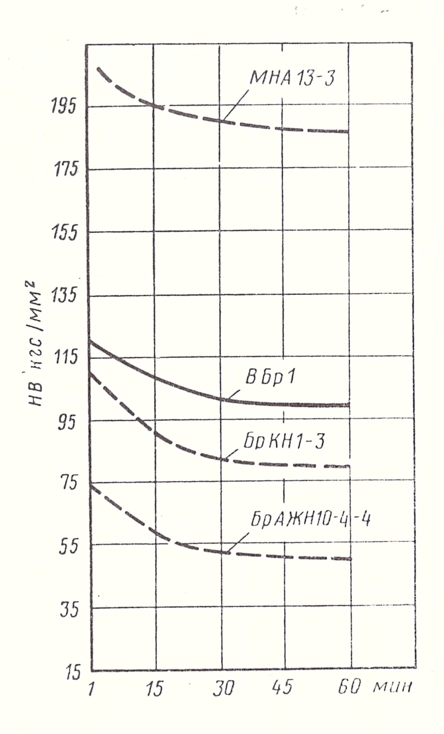


Рис. 1. Зависимость твердости сплавов от продолжительности выдержки под нагрузкой при 450°С.

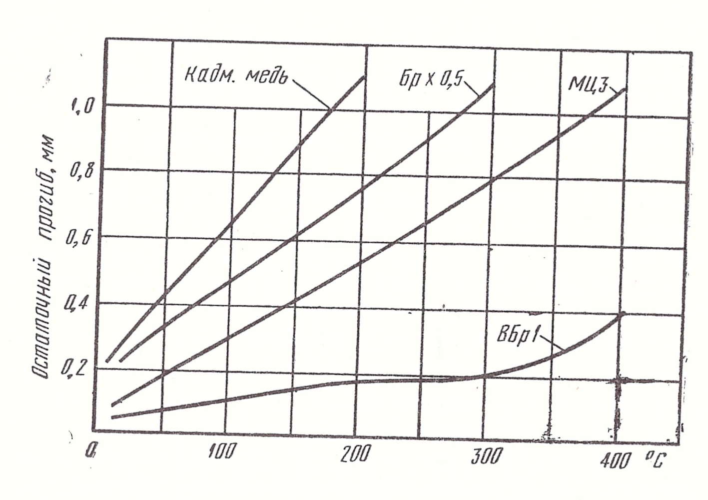


Рис. 2. Деформация сплавов при выдержке под нагрузкой при высоких температурах:
f—1,5 *мм*; σ=30 *кгс/мм²*, t=15 *час*.

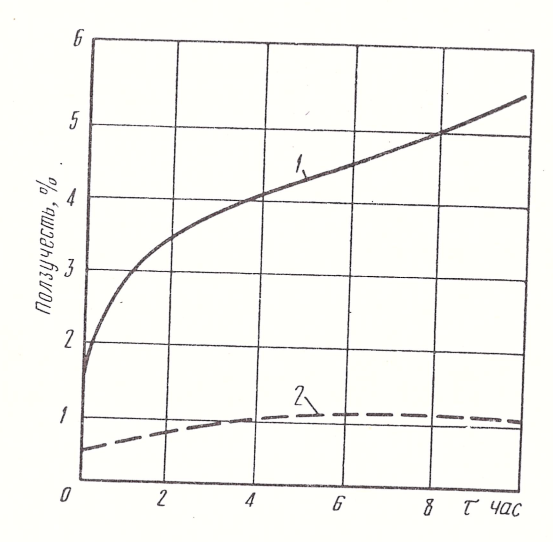


Рис. 3. Ползучесть бронз при 250°С и σ=23,6 *кгс/мм²*:
1 — хромистая бронза; 2 — циркониевая бронза.

БРОНЗА КРЕМНИСТОНИКЕЛЕВАЯ	БрКН1-3

Химический состав в %

Si	Ni	Mn	Cu	Fe	Pb	Sn	Zn	P	Al	Сумма примесей
				не более						
0,6—1,1	2,4—3,4	0,1—0,4	Основа	0,1	0,15	0,1	0,1	0,01	0,02	0,4

Механические свойства по ГОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ	Состояние	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ_{10} %
Прутки	ГОСТ 1628—72	Прессованные	50	10

Примечание. Профили прессованные выпускаются по ЦМТУ 08-171-69.

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10}	ψ	HB	$a_н$	σ_{-1} *
		кгс/мм²			%		*кгс/мм²*	*кгс·м/см²*	*кгс/мм²*
Прутки и лента	Горячекатаные	14000	—	42	27	—	115	—	—
	Деформированные на 40%	—	52	58	8	28	155	8	23
	Деформированные на 80%	—	—	68	5	—	175	—	—
Прутки	Закаленные	—	15	35	30	70	80	—	—
	После старения	—	55	75	7	11	200	—	29

* На базе $1\cdot10^7$ циклов.

Физические свойства

Плотность 8600 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—200
$\alpha \cdot 10^6$ 1/*град*	18

Коэффициент теплопроводности

$\lambda = 105$ *вт/м · град.*

Удельное электросопротивление

$\rho \cdot 10^6 = 4{,}6$ *ом · см.*

Коррозионная стойкость

Бронза обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью на воздухе, в пресной и морской воде.

Технологические данные

Температура горячей обработки давлением 800—900, нагрева под закалку 850—875, старения 450—475°С в течение 2—3 *час*, литья 1170—1200°С. Бронза хорошо обрабатывается резанием.

Применение

Детали, работающие при повышенных температурах (в том числе в узлах трения при небольших удельных давлениях).

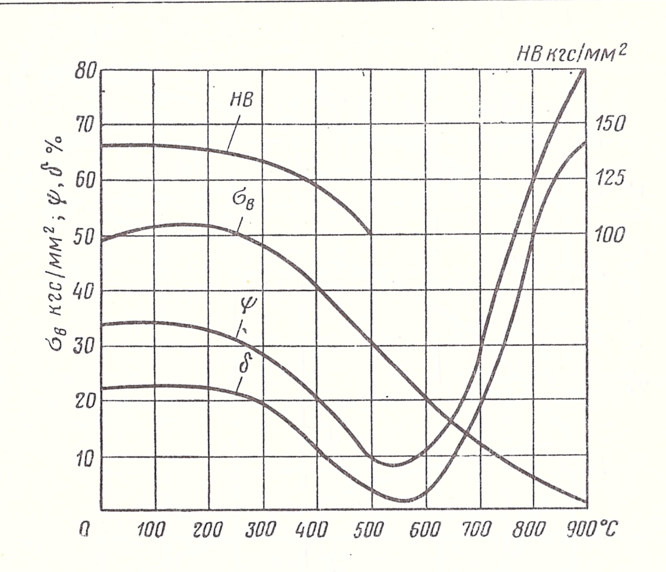


Рис. 1. Механические свойства бронзы БрКН1-3 при высоких температурах.

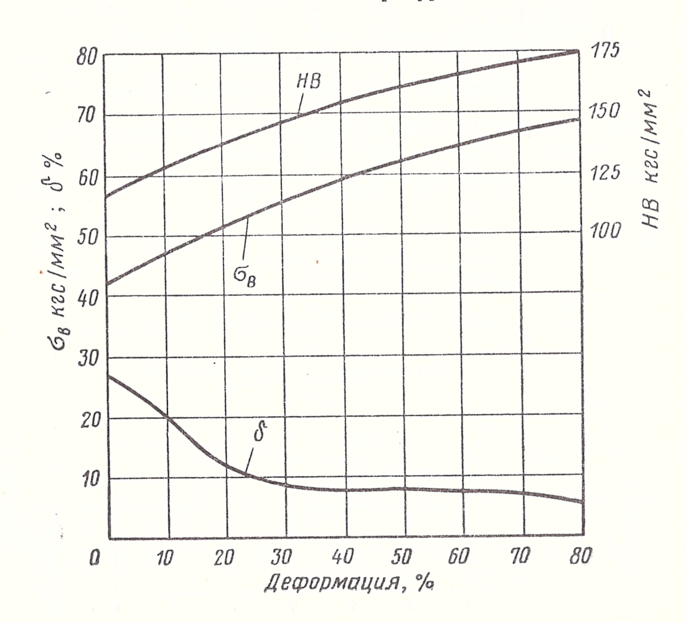


Рис. 2. Зависимость механических свойств горячекатаной полосы из бронзы БрКН1-3 от степени деформации.

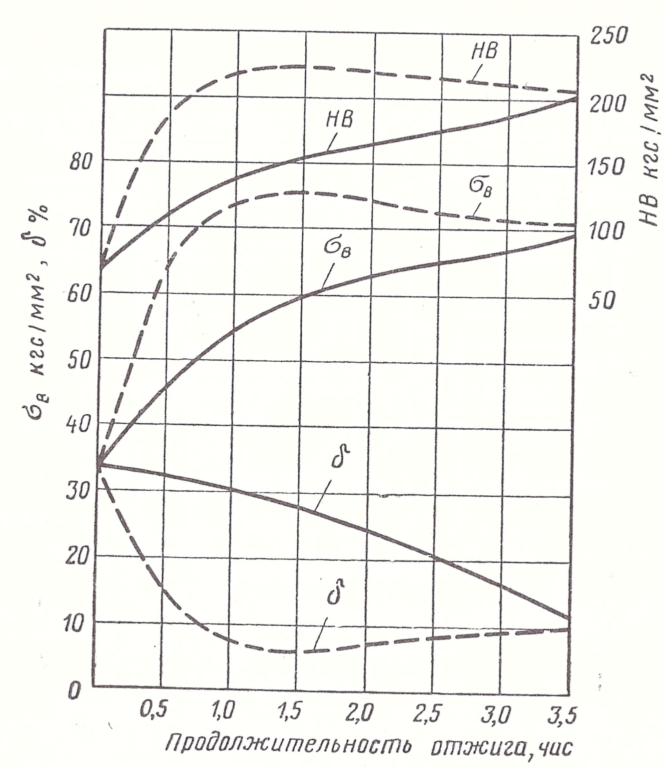


Рис. 3. Зависимость механических свойств прессованного прутка из бронзы БрКН1-3, закаленного с 860°С в воде, от продолжительности отжига при температурах: ——— 450°С; — — 500°С.

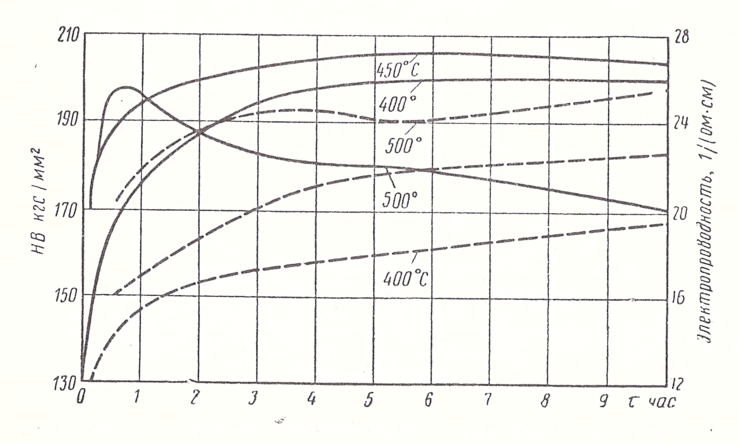


Рис. 4. Зависимость твердости (———) и электропроводности (— — —) бронзы БрКН1-3 от времени выдержки при различных температурах.

БРОНЗА ХРОМИСТАЯ	БрХ0,5 (БрХ0,8)

Химический состав в % (по ТУ 48-08-287-70) *

Cr	Cu **	Fe	Pb	Zn	Mg	Si	P	Неопределяемые примеси
		не более						
0,4—0,7	Основа	0,06	0,005	0,015	0,002	0,05	0,005	0,2

* Для бронзы открытой выплавки (химический состав вакуумной плавки (в %): 0,5—0,7 Cr; остальное — медь; примеси: 0,015 Fe, 0,003 Pb, 0,001 Zn, 0,01 Si, 0,01 Ni, неопределяемые — 0,02).

** Применяется медь марки не ниже М1.

Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_5 %	*HB* кгс/мм²
Листы (открытой выплавки)	ТУ 48-08-287-70	Горячекатаные	23—35	25	—
		Холоднокатаные	23—35	25	—
Листы (вакуумной плавки)		Горячекатаные	22—32	25	—
		Холоднокатаные	22—32	30	—
Полосы	ТУ 48-21-70-72	Твердые	—	—	110
Плиты	ТУ 48-08-385-71	Горячекатаные	—	—	101
Прутки	ТУ 48-21-163-72	Тянутые	30	—	—
		Прессованные	—	—	55
	ТУ 48-21-197-72	Термообработанные	35	12	—

Примечание. Профили выпускаются по ТУ 48-08-395-71, полосы с содержанием 0,4—0,9% Cr — по ЦМТУ 08-203-69.

Механические свойства при высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_в$ кгс/мм²		δ_5 %		$\sigma_{0,08/24}$	$\sigma_{0,08/300}$
							кгс/мм²	
			в среде *					
			аргона	вакуума	аргона	вакуума	аргона	вакуума
Прутки	Закаленные в воде с 950°C	600	14	9,5	6,0	14,0	—	—
		700	12	6,5	8,0	10,0	0,5	0,5
		800	8	6,5	14,0	15,5	—	—

* При вакууме $1 \cdot 10^4$ *тор.*

Пределы длительной прочности и ползучести

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,5/100}$	σ_{100}	$\sigma_{0,1/500}$	$\sigma_{0,2/500}$	$\sigma_{0,5/500}$	σ_{500}	$\sigma_{0,1/1000}$	$\sigma_{0,2/1000}$	$\sigma_{0,5/1000}$	σ_{1000}
			кгс/мм²										
Прутки	Закаленные с 980°C, деформированные вхолодную и состаренные при 470°C	200	22	25	28	16	20	22	25	14	17	20	24
		300	—	—	—	—	—	—	—	12	14	—	18

Модуль упругости при высоких температурах

Свойства	Температура испытания в °C						
	20	200	300	500	600	700	800
E, *кгс/мм²*	12800	—	—	—	—	—	—
$E_д$, *кгс/мм²*	13200	12300	11900	10750	9990	9530	8580

Физические свойства

Плотность 8900 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—400	20—600
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	16,2	17,9	18,9

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	25	600	800
λ *вт/м·град*	221,9	314,0	293,0

Удельное электросопротивление

	Бронза закаленная и отпущенная	Бронза закаленная
$\rho \cdot 10^6$ *ом·см*	2,0	3,8

Удельная теплоемкость

$c = 0{,}38$ *кдж/кг·град.*

Коррозионная стойкость

Бронза обладает хорошей коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и пресной воде. Привес за 24 *час* в среде воздуха при 400°C — 1,92 *мг/см²*.

Технологические данные

Бронза хорошо обрабатывается давлением в горячем и холодном состояниях. Температура начала ковки или прокатки 920°C. Закалка с 950—980°C в воде, отпуск при 400—450°C в течение 4—6 *час.* Температура литья 1150—1250°C. Бронза удовлетворительно обрабатывается резанием.

Бронза БрХ0,5 сваривается дуговой сваркой неплавящимся электродом в среде гелия или аргона. Для присадки применяется медный сплав 5, легированный небольшим количеством циркония. Хорошо сваривается электронно-лучевой сваркой без присадочного металла с обеспечением вакуумной плотности соединений.

Прочность сварных соединений составляет не ниже 0,9 прочности основного отожженного металла. Сварные соединения пластичные.

Применение электронно-лучевой сварки рекомендуется в конструкциях с интенсивным теплоотводом от места сварки.

Бронза БрХ0,5 сваривается с ниобиевыми и ванадиевыми сплавами. Для сварки с коррозионностойкими аустенитными сталями типа Х18Н10Т рекомен-

дуется применять проставку из сплава ЭИ811, для сварки с титановыми сплавами — проставку из ниобиевых или ванадиевых сплавов.

Прочность сварных соединений бронзы БрХ0,5 с ниобиевыми, ванадиевыми, титановыми сплавами и сталями определяется прочностью медного сплава. Сварные соединения пластичные.

Бронза БрХ0,5 удовлетворительно паяется в среде проточного аргона припоем ПСр72ЛМН. При быстром нагреве (ТВЧ, электроконтактном) бронза удовлетворительно паяется горелкой серебряными припоями с флюсами № 200 и 284 и паяльником оловянносвинцовистыми припоями с применением активных флюсов.

Применение

Электроды сварочных аппаратов, коллекторы электродвигателей и другие детали, которые должны сочетать высокую теплопроводность и электропроводность с жаропрочностью.

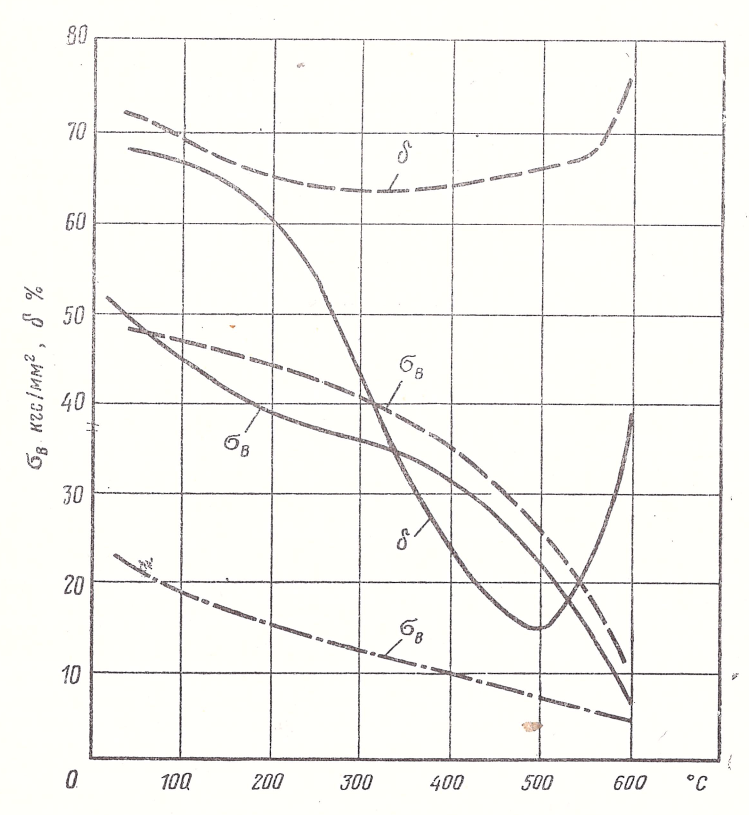


Рис. 1. Изменение механических свойств бронз и чистой меди в зависимости от температуры испытания:
— — — — циркониевая бронза; ——— — хромистая бронза; — · — · — чистая медь.

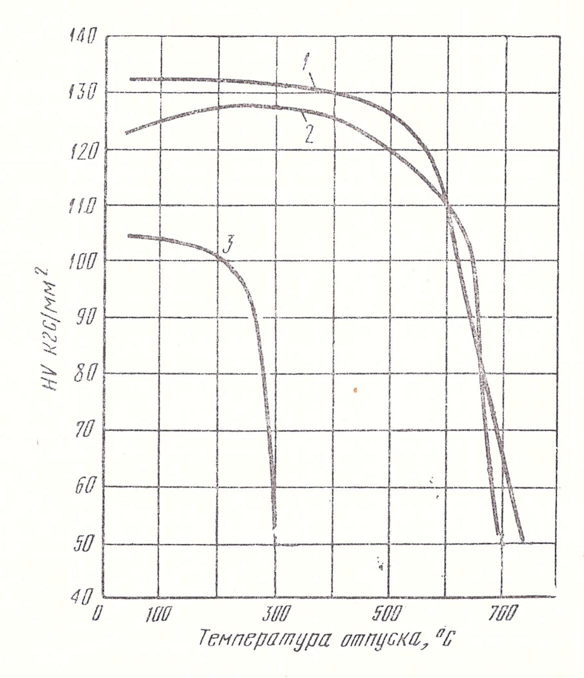


Рис. 2. Влияние температуры отпуска на твердость сплавов:
1 — хромистая бронза; 2 — циркониевая бронза; 3 — медь.

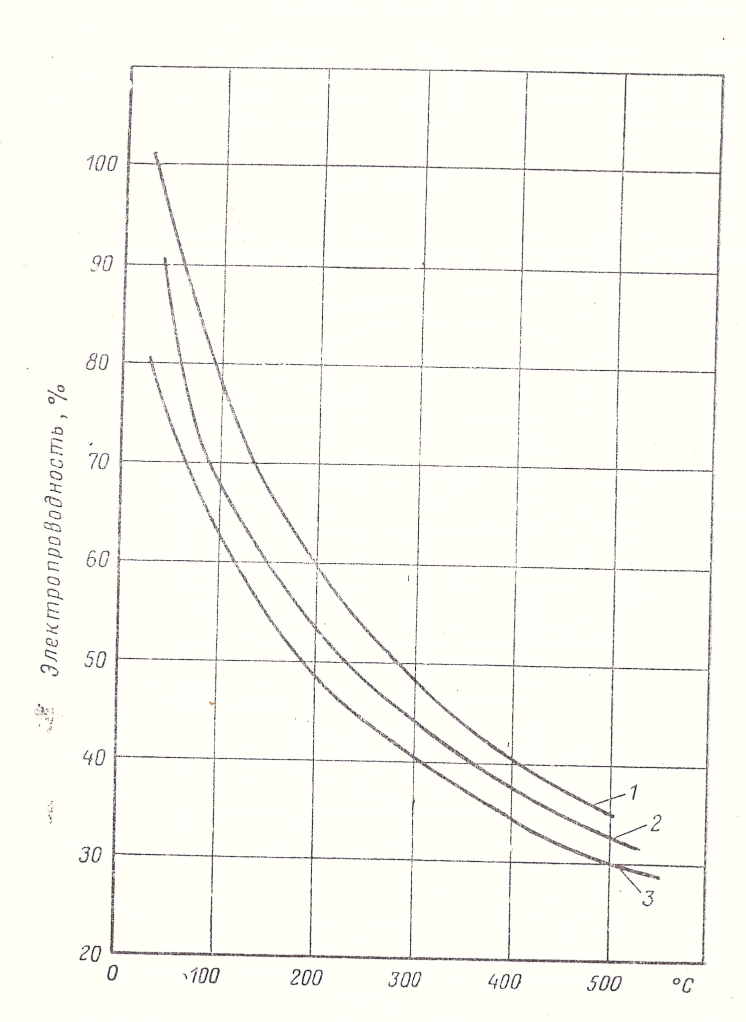


Рис. 3. Зависимость электропроводности различных сплавов от температуры испытания:

1 — медь бескислородная (отожженная); 2 — циркониевая бронза; 3 — хромистая бронза.

БРОНЗА ЦИРКОНИЕВАЯ | БрЦр0,4

Химический состав в % (по ТУ 48-21-222-72)

Zr	Cu	Fe (не более)	Сумма примесей * (не более)
0,3—0,5	Остальное	0,03	0,1

* При раскислении бронзы иттрием в количестве 0,1% этот элемент в сумму примесей не входит.

Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние	*HB* *кгс/мм²*
Полосы коллекторные	ТУ 48-21-222-72	Термически обработанные	115

Примечание. Лента с содержанием циркония 0,1—0,3% выпускается по ТУ 48-21-30-72.

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	$\sigma_{0,2}$, *кгс/мм²*	$\sigma_в$, *кгс/мм²*	δ_{10}, %	*HB*, *кгс/мм²*
Листы, прутки	Закаленные и отпущенные	35	40	16	115

Модуль упругости при различных температурах

Свойства	Температура в °С: 20	200	300	400
E, *кгс/мм²*	13700	13000	12300	11700

Физические свойства

Плотность 8900 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—300	20—600
$\alpha \cdot 10^6$ 1/*град*	16,3	17,8	19,5

Коэффициент теплопроводности

$\lambda = 355$ *вт/м · град.*

Удельное электросопротивление при 20°C

$\rho \cdot 10^6 = 1{,}8$ *ом · см* (в закаленном и отпущенном состояниях);
$\rho \cdot 10^6 = 2{,}8$ *ом · см* (в закаленном состоянии).

Коррозионная стойкость

Коррозионная стойкость такая же, как у меди.

Технологические данные

Бронза хорошо обрабатывается давлением в горячем и холодном состояниях. Температура начала ковки или прокатки 920°C. Закалка с 950—980°C в воде, отпуск при 400—450°C в течение 4—6 *час.* Температура литья 1150—1250°C.

Бронза сваривается и паяется, удовлетворительно обрабатывается резанием.

Применение

Электроды сварочных аппаратов, коллекторы электродвигателей и другие детали, которые должны сочетать высокую теплопроводность и электропроводность с жаропрочностью.

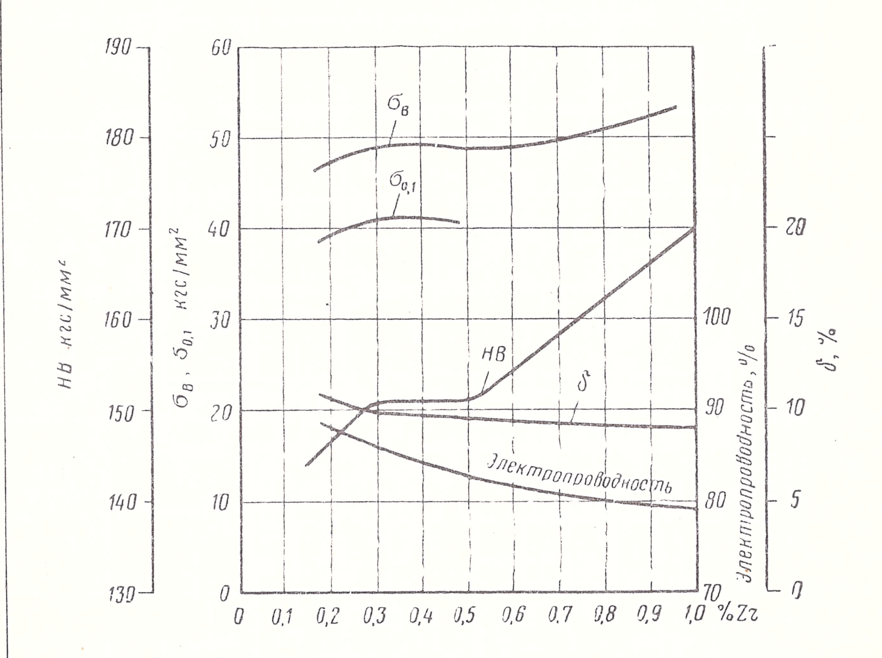


Рис. 1. Изменение механических свойств и электропроводности меди с увеличением содержания циркония.

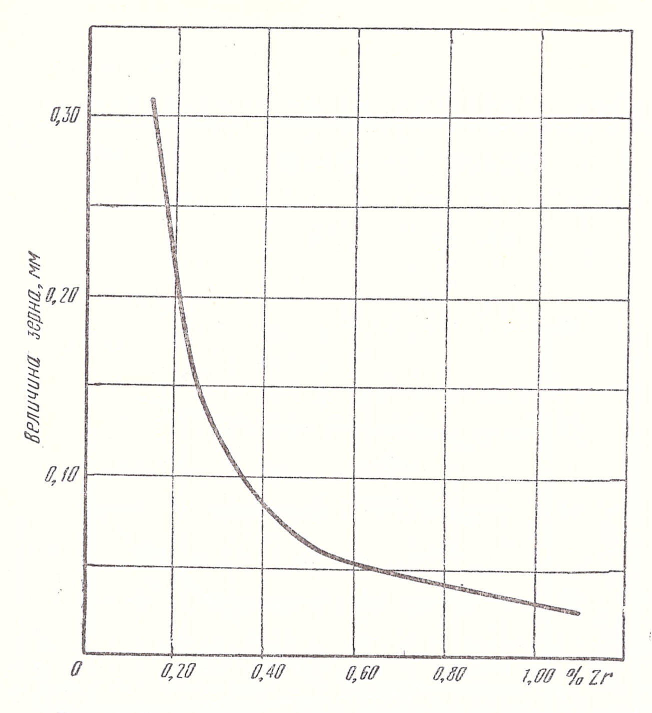


Рис. 2. Зависимость величины зерна меди от содержания циркония.

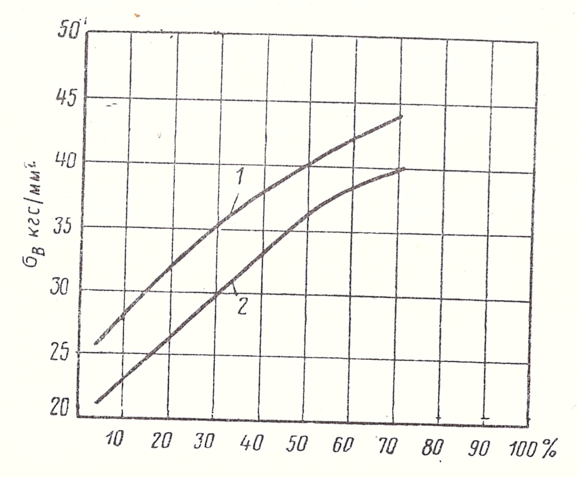


Рис. 3. Влияние отпуска в сочетании с холодной деформацией на прочность циркониевой бронзы. (Закалка перед деформацией с 900°C): *1* — отпуск при 425°C 1 *час*; *2* — без отпуска.

БРОНЗА КОБАЛЬТОНИКЕЛЕВАЯ	**ВБр1**

Химический состав в %

Co	Ni	Be	Ti	Cu	Si	Al	Fe	Всего примесей
					не более			
0,2—0,3	0,2—0,4	0,15—0,25	0,05—0,15	Основа	0,05	0,1	0,03	0,15

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	$\sigma_{пц}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_5	ψ	HB *кгс/мм²*
		кгс/мм²				%		
Прутки	Закаленные и отпущенные	12500	30	40	50	20	40	150

Механические свойства при высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	E	$E_д$	$\sigma_{пц}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_5	ψ	HB
			кгс/мм²					%		*кгс/мм²*
Прутки	Закаленные и отпущенные	100	—	13000	—	—	—	—	—	145
		300	11700	12500	25	37	40	5	8	140
		400	9000	12000	23	—	25	3	2	130
		500	—	11000	—	—	20	1	2	110
		600	—	10500	—	—	18	1	1	60
		700	—	10000	—	—	10	10	—	30
		800	—	9000	—	—	—	—	—	—

Пределы длительной прочности

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	σ_{100} кгс/мм²
Прутки	Закаленные и отпущенные	200	30
		300	20
		400	10

Физические свойства

Плотность 8870 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600	20—700
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	15,9	16,9	17,5	18,0	18,9	19,7	20,9

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	100	200	300	400	500	600	700
λ *вт/м · град*	209,34	217,71	221,9	230,27	238,65	242,83	234,46

Удельное электросопротивление

$\rho \cdot 10^6 = 2{,}9$ *ом · см.*

Удельная теплоемкость

Температура °C	100—300	400—500	600—700
c кдж/кг · град	0,38	0,42	0,46

Коррозионная стойкость

Бронза обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью в атмосферных условиях (в районах промышленного центра) и во влажной среде.

Технологические данные

Бронза деформируется в горячем и холодном состояниях (холодная деформация допускается на 90%). Нагрев под закалку при 980°C, охлаждение в воде, отпуск при 480°C — 4 *час.* Температура литья 1140—1160°C.

Бронза удовлетворительно сваривается в среде защитных газов с применением присадочного материала состава: 0,2% Co; 0,4% Ni; 0,05% Zr, основа — медь. Удовлетворительно обрабатывается резанием.

Применение

Детали, которые должны сочетать высокую жаропрочность с высокой теплопроводностью или электропроводностью, для работы при температурах до 400°C (ламели коллекторов и др.) и другие детали специального назначения, подвергающиеся кратковременному нагреву до 600°C.

КУНИАЛЬ А	МНА13-3

Химический состав в %

Ni+Co	Al	Cu	Fe	Mn	Pb	Сумма примесей
			не более			
12,0—15,0	2,3—3,0	Основа	1,00	0,50	0,002	1,90

Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ_{10} %
Прутки	ТУ48-21-407-74	Прессованные	70	7

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ_{10} %	*HB* *кгс/мм²*
Прутки	Прессованные	75	13	200
	Твердые (деформированные на 40% и отпущенные при 500°С)	100	4	275
Прутки горячекатаные	Мягкие	72	20	—

Физические свойства

Плотность 8500 *кг/м³*.

Коррозионная стойкость

Бронза обладает повышенной коррозионной стойкостью в атмосферных условиях.

Технологические данные

Горячая обработка давлением при 900—1000°С. Температура нагрева под закалку 900°С; отпуск при 500°С в течение 2 *час*. Температура литья 1250—1300°С.

Применение

Детали, работающие при высоких температурах.

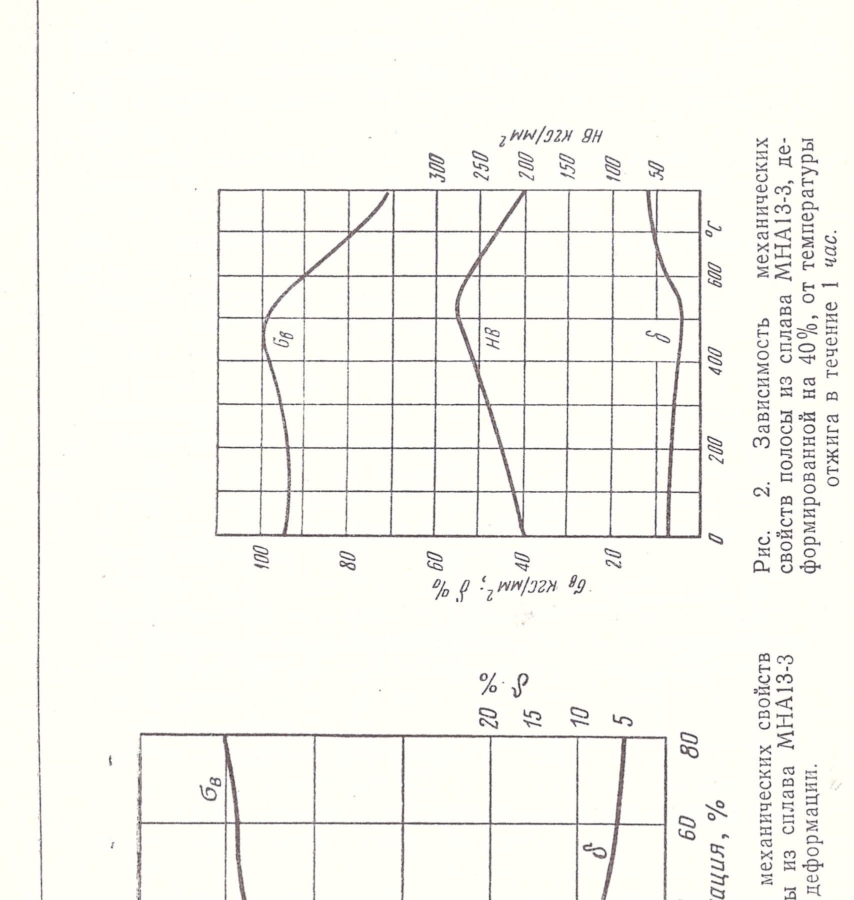


Рис. 1. Зависимость механических свойств горячекатаной полосы из сплава МНА13-3 от степени деформации.

Рис. 2. Зависимость механических свойств полосы из сплава МНА13-3, деформированной на 40%, от температуры отжига в течение 1 *час*.

HB кгс/мм²
400
300
200
100
0 100 200 300 400 500 °С

Рис. 3. Твердость сплава МНА13-3 при высоких температурах.

МЕДНОНИКЕЛЕВЫЕ СПЛАВЫ

Медноникелевые сплавы (мельхиор, нейзильбер, монель) обладают высокой коррозионной стойкостью и жаростойкостью, что позволяет применять их для изготовления деталей, работающих при высоких температурах и в коррозионноактивных средах.

Сплавы, содержащие до 68,5% Ni, при комнатной температуре немагнитны. Сплавы с 40—50% Ni обладают наибольшим удельным электросопротивлением, небольшой термоэлектродвижущей силой и наименьшим температурным коэффициентом электросопротивления.

Медноникелевые сплавы достаточно пластичны и удовлетворительно обрабатываются давлением в горячем и холодном состояниях. Изготовляются в виде ленты, прутков, проволоки. Хорошо свариваются сваркой плавлением.

Мельхиор — сплав меди с 20% Ni — применяется как коррозионностойкий материал для работы в среде пара, пресной и морской воде, а также при повышенных температурах. Из него изготовляют сетки и конденсаторные трубки, работающие в тяжелых условиях (при повышенных давлениях и температурах), в которых медные и латунные трубки неприменимы.

Нейзильбер — тройной сплав меди, никеля и цинка — имеет удовлетворительную коррозионную стойкость и достаточно высокие механические свойства. Применяется для изготовления деталей приборов и арматуры, работающей во влажной или коррозионноактивной среде, а также для электротехнических целей. Поверхность сплава — блестящая.

Монель — сплав, содержащий 65—70% Ni; 2—3% Fe; 1,2—1,8% Mn (остальное — медь), имеет высокую коррозионную стойкость и хорошие характеристики прочности и жаропрочности. Применяется для изготовления деталей, работающих в различных агрессивных средах (пар, растворы солей, щелочей и кислот). Монель обладает хорошей стойкостью к окислению при температурах до 750°С. При нагреве до 500°С его механические свойства мало изменяются.

При использовании монеля в конструкции следует избегать его контакта с менее благородным металлом, так как образующаяся пара вызывает ускоренную коррозию этого материала.

МЕЛЬХИОР	МН19

Химический состав в %

Ni+Co	Cu	Fe	Mn	Si	Mg	Pb
		не более				
18,0—20,0	Основа	1,0	0,30	0,15	0,05	0,005

Продолжение

S	C	P	Bi	As	Sb	Сумма примесей
не более						
0,01	0,05	0,010	0,002	0,010	0,005	1,5

Механические свойства по ГОСТ или ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ или ТУ	Состояние	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_{10} %
Полосы	ГОСТ 5063—73	Мягкие	30	30
		Твердые	40	3
Лента	ГОСТ 5187—70	Мягкая	30	25
		Твердая	40	2,5
Лента	ТУ 48-08-278-70	Мягкая	30	32
Прутки	ТУ 48-21-191-72	Мягкие	30	—
		Твердые	40	—

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полу-фабри-ката	Состояние	E	$\sigma_{пц}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10}	ψ	HB	σ_{-1} *
		кгс/мм²				%		кгс/мм²	
Листы и полосы	Мягкие	—	10	17	40	35	75	70	12
	Твердые (деформированные на 60—80%)	14000	45	50	60	5	—	180	16

* На базе $1 \cdot 10^8$ циклов.

Глубина выдавливания по Эриксену *

Вид полуфабриката	Толщина мм	Состояние	Минимальная глубина сферической лунки мм
Листы	1,68	Твердые	4,3
	0,84	»	3,4
	0,42	»	3,5
	1,68	Мягкие	13,1
	0,84	»	12,1
	0,42	»	10,9

* Диаметр пуансона 10 *мм*.

Механические свойства при низких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10}	ψ
			кгс/мм²		%	
Проволока	Мягкая	20	19	36	26	78
		—10	20	39	28	77
		—40	20	42	29	77
		—80	20	43	29	76
		—120	20	46	28	75
		—180	23	51	36	72

Физические свойства

Плотность 8920 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100
$\alpha \cdot 10^6$ 1/*град*	16

Коэффициент теплопроводности

λ=37,0 *вт/м · град*.

Удельное электросопротивление

ρ · 10⁶=30 *ом · см.*

Коррозионная стойкость

Мельхиор обладает высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и при повышенных температурах. Потеря в весе за сутки в морской воде составляет 0,17 *г/м²*.

Технологические данные

Мельхиор хорошо обрабатывается давлением в горячем и холодном состояниях (прессование, прокатка и волочение). Температура горячей обработки 980—1030, отжига 690—780, рекристаллизации — 420°С. Температура литья 1280—1300°С.

Применение

Детали точных приборов, сетки и химически стойкие детали.

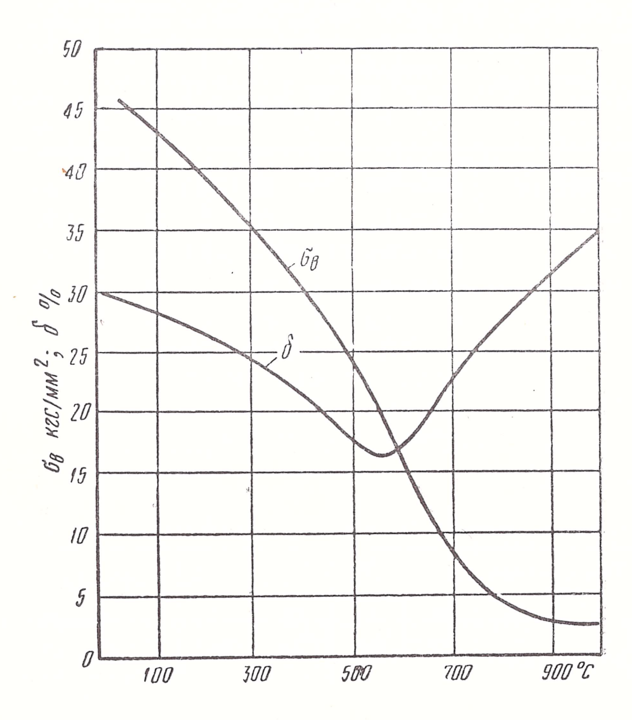


Рис. 1. Механические свойства, прутков диаметром 25 *мм*, деформированных на 20%, при высоких температурах. (Выдержка при испытании 1 *час*; величина зерна 0,035 *мм*).

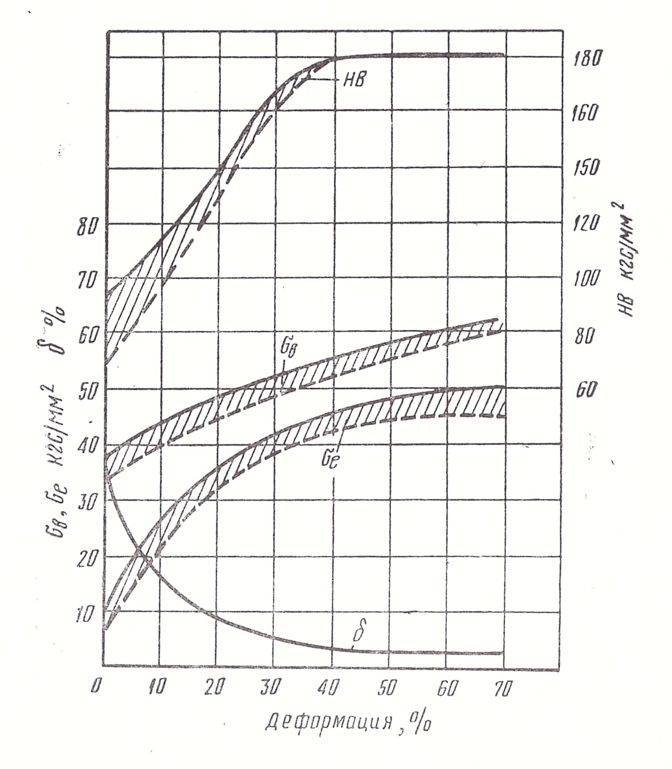


Рис. 2. Зависимость механических свойств мягких листов толщиной 1 *мм* из мельхиора МН19 от степени деформации и величины зерна (z):

—— z =0,015 *мм*; — — z =0,055 *мм*.

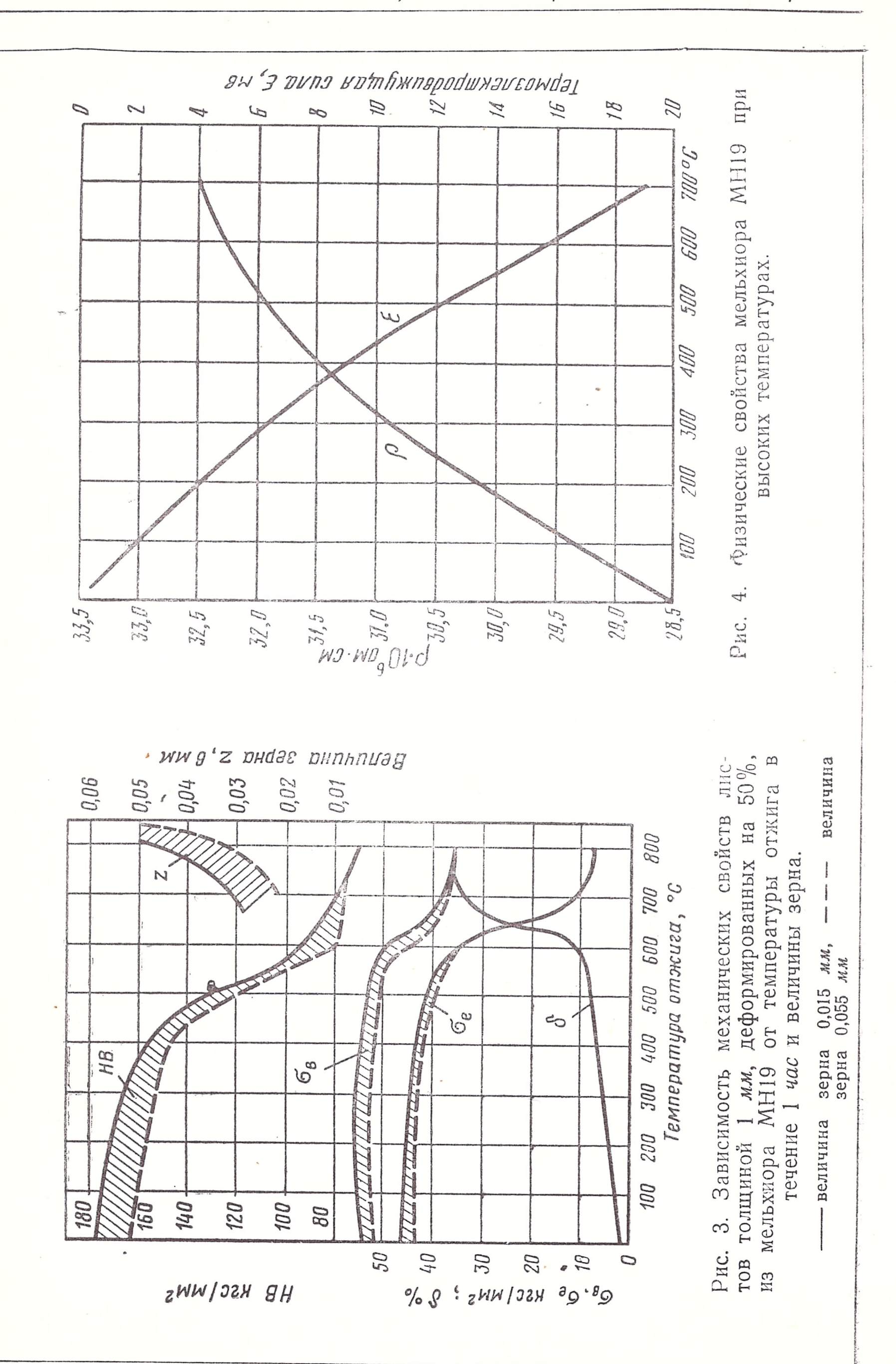


Рис. 4. Физические свойства мельхиора МН19 при высоких температурах.

Рис. 3. Зависимость механических свойств листов толщиной 1 *мм*, деформированных на 50%, из мельхиора МН19 от температуры отжига в течение 1 *час* и величины зерна.

—— величина зерна 0,015 *мм*, — — — величина зерна 0,055 *мм*

НЕЙЗИЛЬБЕР	МНЦ15-20

Химический состав в %

Ni+Co	Zn	Cu	Fe	Mn	Si	Mg
			не более			
13,50—16,50	18,0—22,0	Основа	0,50	0,30	0,15	0,05

Продолжение

Pb	S	C	P	Bi	As	Sb	Сумма примесей
не более							
0,020	0,005	0,03	0,005	0,002	0,010	0,002	0,90

Механические свойства по ГОСТ или ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ или ТУ	Состояние	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ_{10} * %
Полосы	ГОСТ 5063—73	Мягкие	35	35
		Твердые	55	1
		Особо твердые	65	1
Лента	ГОСТ 5187—70	Мягкая	35	30
		Полутвердая	45—55	4
		Твердая	55—70	2
		Особо твердая	>70	—
Прутки тянутые диаметром (*мм*):	ТУ 48-21-84-72			
6—30		Мягкие	35	30
6—22		Твердые	45	5
23—30		»	40	7
Прутки катаные диаметром 32—50 *мм*	ТУ 48-21-84-72		35	8

Продолжение

Вид полуфабриката	ГОСТ или ТУ	Состояние	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_{10} * %
Проволока диаметром (мм):	ГОСТ 5220—71	Мягкая		
0,1—0,20			35	15
0,25—0,50			35	20
0,60—1,00			35	25
1,10—5,0			35	30
0,6—1,00		Полутвердая	45	3
1,1—5,0			45	5
0,1—0,50		Твердая	70—110	—
0,6—1,00			70—110	—
1,1—5,0			55	1,0

Примечание. Лента твердая высокой точности выпускается по ТУ 48-21-252-72.

* На длине 100 мм (на проволоке).

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	$\sigma_{пц}$	$\sigma_{0,005}$ при изгибе	$\sigma_{0,5}$	$\sigma_в$	δ_{10}	HV	$\tau_{ср}$	σ_{-1} *
		кгс/мм²					%	кгс/мм²		
Прутки	Мягкие	12600	10	—	16	38	35	70	25	12
Лента и полосы	Мягкие	12600	—	14	16	40	40	80	28	12
	Полутвердые	—	—	—	42	52	10	150	33	—
	Твердые	—	—	33	53	60	3	180	35	14
	Твердые отпущенные	—	—	48	—	—	—	200	—	—
	Особо твердые	—	—	52,5	55	64	2	185	38	16
	То же, отпущенные	—	—	66	—	—	—	210	—	—

* На базе $1 \cdot 10^8$ циклов.

Механические свойства при низких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10}	ψ
			кгс/мм²		%	
Прутки	Полутвердые	20	—	52	21	54
		—154	—	66	35	63
	Мягкие	20	21	45	47	62
		—154	27	58	57	69

Релаксационная стойкость

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	σ_0 кгс/мм²	Остаточное напряжение (σ_R) (кгс/мм²) за время в час				
				100	300	1000	10000	50000
Лента	Твердая (деформированная на 55%)	20	33	32,5	—	32	31	30
		100	40	—	36,5	—	—	—
		200	40	—	32	—	—	—
	Твердая (деформированная на 55% и отпущенная)	20	39	39	—	38,5	38	37
		100	40	—	38,5	—	—	—
		150	40	—	37,5	—	—	—
		200	40	—	36,5	—	—	—

Физические свойства

Плотность 8800 кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—300
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	16,6

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	20
λ *вт/м · град*	36

Удельное электросопротивление

ρ · 10⁶=25 *ом · см*.

Удельная теплоемкость

c=0,377 *кдж/кг · град*.

Коррозионная стойкость

Сплав обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью.

Технологические данные

Сплав деформируется в горячем и холодном состояниях. Температура прокатки 950—970, прессования 800°C. Степень деформации в горячем состоянии 30% за один проход, суммарное обжатие в холодном состоянии 70%. Отжиг при 700—750°C, низкотемпературный отжиг при 250—300°C. Материал хорошо соединяется пайкой и сваркой.

Температура литья 1150—1170°C.

Применение

Детали приборов, пружины и арматура, работающая в среде пара и воды.

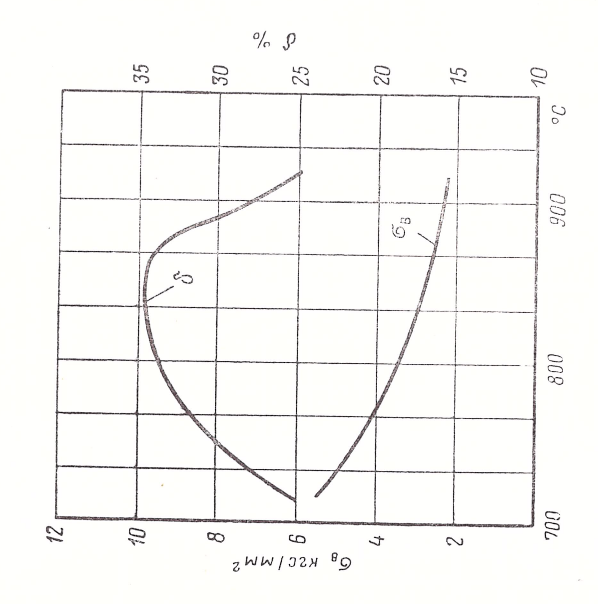


Рис. 1. Механические свойства нейзильбера МНЦ15-20 при высоких температурах.

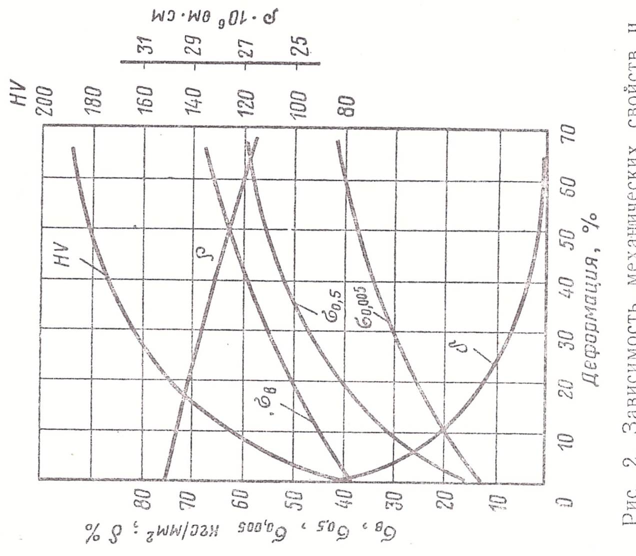


Рис. 2. Зависимость механических свойств и удельного электросопротивления мягкой полосы из нейзильбера МНЦ15-20 от степени деформации.

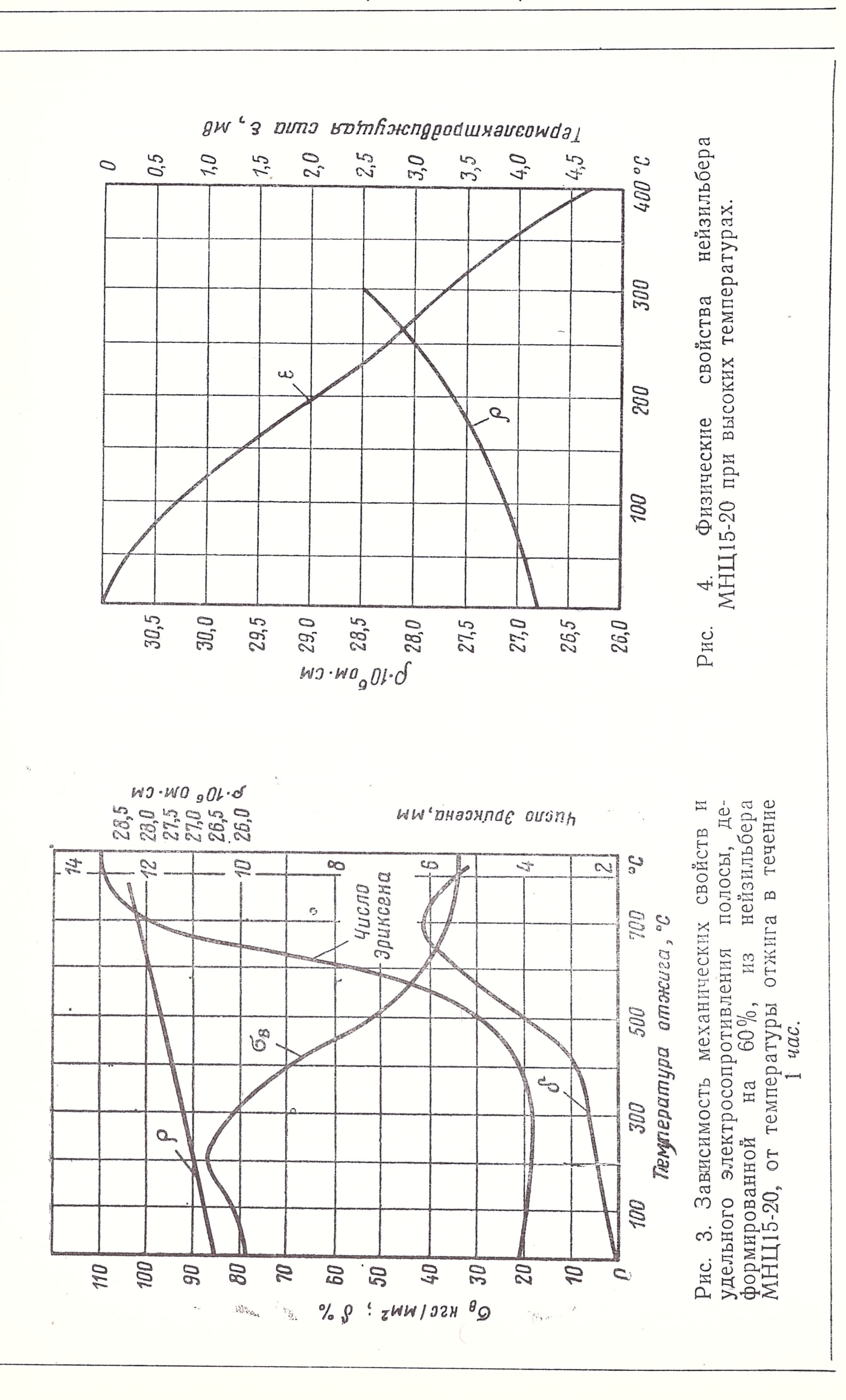


Рис. 4. Физические свойства нейзильбера МНЦ15-20 при высоких температурах.

Рис. 3. Зависимость механических свойств и удельного электросопротивления полосы, деформированной на 60%, из нейзильбера МНЦ15-20, от температуры отжига в течение 1 *час.*

МОНЕЛЬ	НМЖМц28-2,5-1,5

Химический состав в %

Fe	Mn	Cu	Ni+Co	Mg	Si	Pb
				не более		
2,00—3,00	1,20—1,80	27,0—29,0	Основа	0,10	0,05	0,002

Продолжение

S	C	P	Bi	As	Sb	Сумма примесей
не более						
0,01	0,20	0,005	0,002	0,010	0,002	0,60

Механические свойства по ГОСТ или ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ или ТУ	Состояние	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ_{10} * %
Полосы и лента	ГОСТ 5063—73	Мягкие	45	25
	ГОСТ 5187—70	Полутвердые	58	6,5
Прутки катаные и поковки	ТУ 48-21-145-72	—	45	18
Прутки диаметром (в *мм*):	ГОСТ 1525—53			
тянутые 5—40		Мягкие	45	25
		Твердые	60	10
катаные 35—70		—	50	18
Проволока диаметром (в *мм*):	ТУ 48-21-14-72			
0,5—4,99		Мягкая	50	25
5—10			45	30
0,5—4,99		Твердая	70	1
5—10			65	1

* На длине 100 *мм*.

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	G	$\sigma_{пц}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$
		кгс/мм²				
Прутки	Мягкие	18000	6700	17	25	55
	Горячекатаные	—	—	—	30	60
	Твердые (тянутые)	—	—	—	60	70
Лента и полосы	Мягкие	—	—	—	28	55
	Твердые	—	—	—	55	75
					80	95
Проволока	Мягкая	—	—	—	25	55
	Твердая	—	—	—	65	80

Продолжение

Вид полуфабриката	Состояние	δ_{10}	ψ	$\tau_{ср}$	HB	σ_{-1} *	Глубина сферической лунки мм
		%		кгс/мм²			
Прутки	Мягкие	40	65	39	125	—	—
	Горячекатаные	35	65	—	160	—	—
	Твердые (тянутые)	12	—	—	200	28	—
Лента и полосы	Мягкие	40	—	—	120	17	14
	Твердые	13	—	—	220	26	8
		2	—	—	—	—	—
Проволока	Мягкая	40	—	—	—	—	—
	Твердая	5	—	—	—	—	—

* На базе $1 \cdot 10^8$ циклов.

Механические свойства при низких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10}	HB
			кгс/мм²		%	кгс/мм²
Прутки тянутые	Мягкие	20	24	55	45	—
		—183	34	80	48	—
	Твердые	20	65	72	15	210
		—80	70	82	20	245

Пределы ползучести

Вид полуфабриката	Состояние	$\sigma_в^{20°}$ кгс/мм²	Температура испытания °С	$\sigma_{0,01/1000}$	$\sigma_{0.1/1000}$	$\sigma_{0,2/1000}$	$\sigma_{1/1000}$
				кгс/мм²			
Прутки тянутые	Твердые	80	370	42	63	70	—
			400	21	40	44	—
			450	6	17	20	27
			500	1	6	8	14
			550	0,2	3	4	7
			600	0,1	1	1,5	3

Физические свойства

Плотность 8800 кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	25—100	25—300	25—750
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	14	15	16,4

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	0	100	200	300	400
λ *вт/м · град*	22	24,3	27,6	30	34

Удельное электросопротивление

$\rho \cdot 10^6 = 50$ *ом · см.*

Удельная теплоемкость

$c = 0{,}45$ *кдж/кг · град.*

Температура магнитного превращения 40—60°C.

Коррозионная стойкость

Сплав обладает высокой коррозионной стойкостью.

Технологические данные

Обрабатывается давлением в горячем и холодном состояниях. Температура обработки 950—1150°C; максимально допустимая деформация в холодном состоянии 94%. Температура отжига 850—950°, низкотемпературного отжига 400—450°C.

Температура литья 1500—1560°C; линейная усадка — 2%.

Применение

Детали, работающие в агрессивных средах: рабочие колеса насосов, корпуса, клапаны, тройники, втулки, краны и т. п.

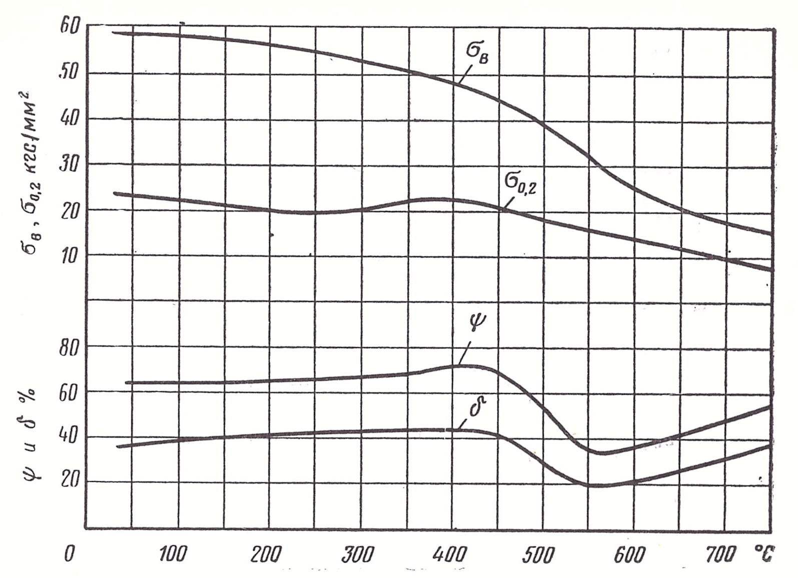


Рис. 1. Свойства горячекатаного монель-металла при высоких температурах.

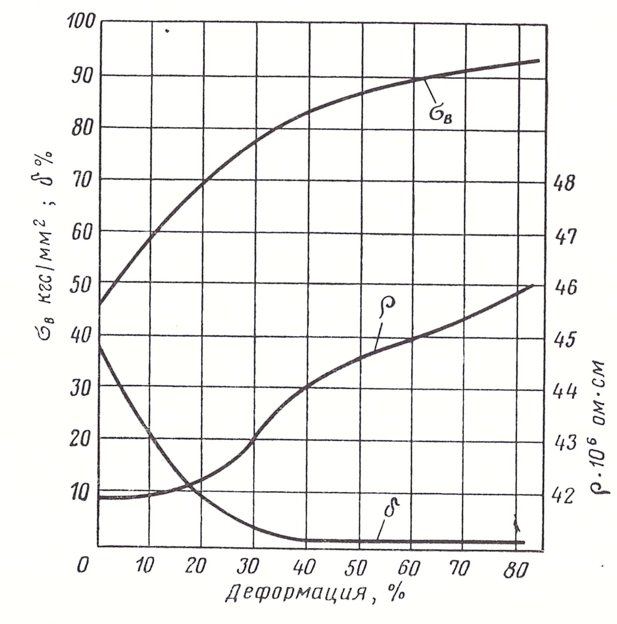


Рис. 2. Зависимость механических свойств и удельного электросопротивления проволоки из монель-металла от степени деформации.

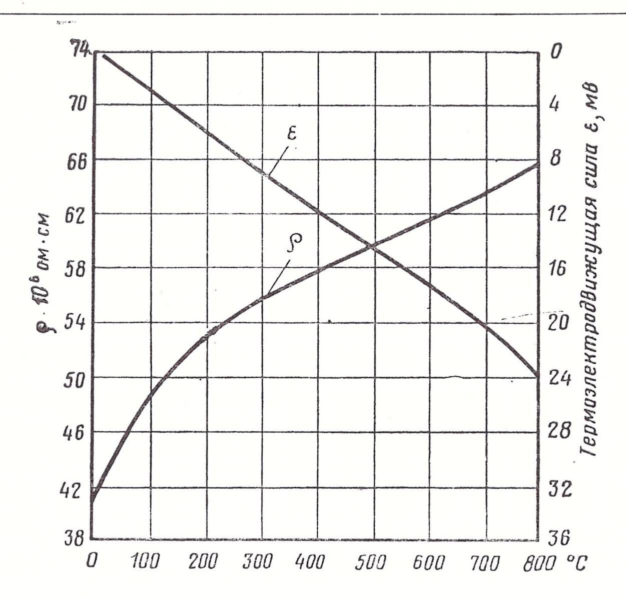


Рис. 3. Физические свойства монель-металла при высоких температурах.

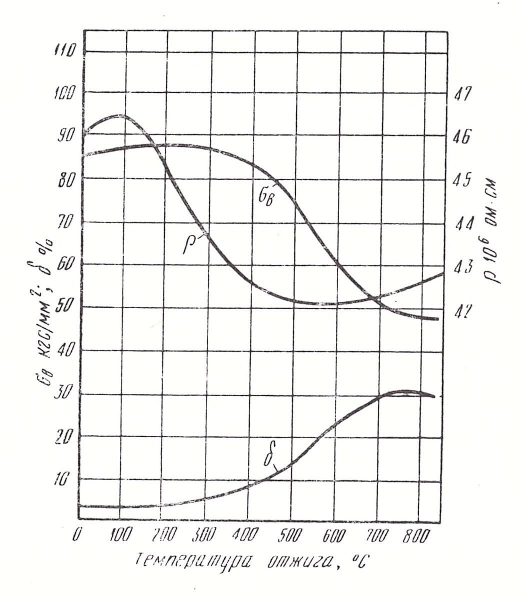


Рис. 4. Зависимость механических свойств и удельного электросопротивления монель-металла от температуры отжига.

СПЛАВЫ ДЛЯ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Сплавы этой группы применяются для изготовления различных пружинящих деталей. Из бериллиевых бронз (БрБ2, БрБ2,5, БрБНТ1,9, БрБНТ1,7) и оловянистых (БрОФ7-0,2, БрОФ6,5-0,15), а также кремнистомарганцевой бронзы марки БрКМц3-1 и из латуней некоторых марок получают пружины различного назначения — витые и плоские, токоподводящие упругие детали электрооборудования, упругие элементы в виде гофрированных мембран и сильфонов точных приборов, трубки Бурдона и другие пружинящие детали.

Указанные детали изготовляют из полос, ленты толщиной не ниже 0,15 *мм* и проволоки диаметром не ниже 0,1 *мм*. Для получения манометрических пружин Бурдона служат тонкостенные трубки различных размеров.

Оловянистые, кремнистомарганцевая и алюминиевая бронзы, представляющие собой твердые растворы, обладают высокими упругими свойствами лишь в деформированном состоянии, особенно после непродолжительного (1 *час*) низкотемпературного отжига (иногда называемого отпуском) при 250—280°С.

Эти сплавы применяются главным образом при температуре, не превышающей 100°С. При более высоких температурах увеличивается релаксация и понижаются механические свойства (рис. 1—2).

Для изготовления пружин применяется также дисперсионно-твердеющая никельалюминиевая бронза марки МНА6-1,5 (Куниаль Б). Свойства у этой бронзы, содержащей 6% Ni и 1,5% Al, повышаются лишь под действием отжига при 500°С, вследствие значительного содержания никеля и дисперсионного твердения при отпуске.

Высокая твердость сплавов в закаленном состоянии, в частности температуростойкого сплава МНА6-1,5, обладающего значительной твердостью после закалки, также затрудняет изготовление пружинящих деталей сложной формы.

Исключительным преимуществом бериллиевых бронз, представляющих собой дисперсионно-твердеющие сплавы, является их мягкость и высокая пластичность в закаленном состоянии; эти качества допускают навивку пружин и холодную прокатку ленты, а также изготовление глубокой вытяжкой и прессованием тонкостенных пружинящих деталей любой сложности. После дисперсионного твердения при отпуске готовые детали приобретают высокие упругие свойства. Пластичность бериллиевых бронз в закаленном состоянии, характеризуемая глубиной выдавливания по Эриксену, составляет 8—9 *мм* при твердости 90 *кгс/мм*²; твердость после отпуска — 350—400 *кгс/мм*², предел упругости достигает 75 и предел выносливости — 30 *кгс/мм*² (на базе $1 \cdot 10^8$ циклов). При

этом сплавы обладают температуроустойчивостью (см. рис. 2), допускающей применение упругих элементов из бериллиевых бронз при температурах до 150—170°С.

Бериллиевые бронзы немагнитны и отличаются высокой коррозионной стойкостью под напряжением, превосходя в этом отношении оловянистые и другие бронзы. Сплавы этой группы полностью устойчивы в условиях тропиков. Электропроводность берилиевых бронз составляет 25—30% от электропроводности чистой меди. Легирование небольшим количеством титана позволяет уменьшить содержание бериллия и получить более однородную структуру без существенного снижения прочности сплавов. Бериллиевые бронзы хорошо свариваются и паяются. Обработка их резанием даже после дисперсионного твердения затруднений не вызывает.

Благодаря сочетанию хорошей пластичности (в закаленном состоянии), обеспечивающей материалу высокую технологичность, с весьма высокими упругими свойствами и сопротивлением усталости (после отпуска), бериллиевые бронзы представляют собой лучший материал для изготовления упругих элементов авиаприборов и широко используются в отечественной и зарубежной промышленности.

Недостатком бериллиевых бронз является их сравнительно высокая стоимость и токсичность бериллия. В связи с этим в настоящее время проводятся работы по опробованию в производственных условиях новых сплавов, не содержащих бериллия, использование которых позволит сократить применение бериллиевых бронз.

Для изготовления упругих элементов приборов, работающих при температурах до 250°С, могут быть использованы сплавы типа мельхиор, а также алюминиевоникелевая бронза, содержащая марганец и кремний, улучшающие термостойкость материала и повышающие упругие свойства. Бронза БрАНМц6-6-2-1 является дисперсионно-твердеющим сплавом. После отпуска она имеет высокие упругие свойства ($\sigma_{0,005}=80$ *кгс/мм*²). Значительная твердость этой бронзы после закалки ($HB=110$ *кгс/мм*²) усложняет изготовление из нее деталей (штамповка мембран, формовка сильфонов). Сплавы такого типа рекомендуются для применения в условиях повышенных температур в тех случаях, когда не предъявляется высоких требований к электропроводности (электросопротивление бронзы БрАНМцК6-6-2-1 составляет $\rho \cdot 10^6=16$ *ом·см*, а бериллиевой бронзы — $\rho \cdot 10^6=8$ *ом·см*).

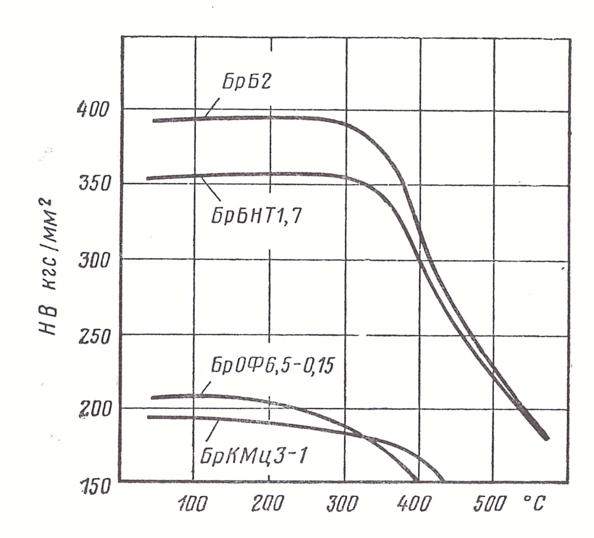


Рис. 1. Твердость бронз БрБ2, БрБНТ1,7, БрОФ6,5-0,15 и БрКМц3-1 в зависимости от температуры испытания.

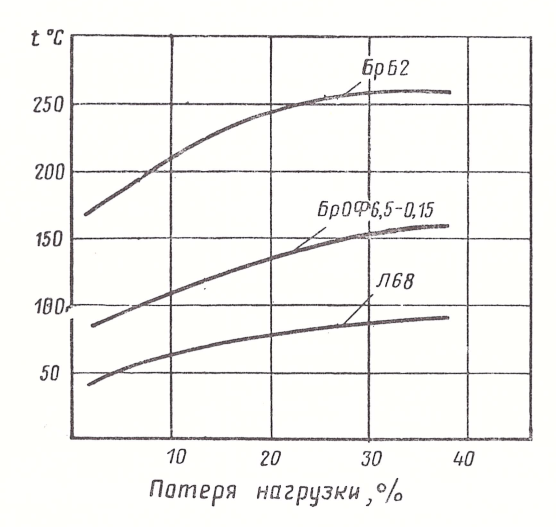


Рис. 2. Влияние температуры испытания на релаксацию напряжений (при 25°С и $\sigma=35$ *кгс/мм*²) бронз БрБ2, БрОФ6,5-0,15 и латуни Л68.

БРОНЗЫ БЕРИЛЛИЕВЫЕ	БрБ2,5; БрБ2; БрБНТ1,9; БрБНТ1,7

Химический состав в %

Марка	Be	Ni	Ti	Cu	Fe	Pb	Al	Si	Сумма примесей
					не более				
БрБ2,5	2,3—2,6	0,2—0,5	—	Основа	0,15	0,005	0,15	0,15	0,5
БрБ2	1,9—2,2	0,2—0,5	—	Основа	0,15	0,005	0,15	0,15	0,5
БрБНТ1,9	1,85—2,10	0,2—0,4	0,10—0,25	Основа	0,15	0,005	0,15	0,15	0,5
БрБНТ1,7	1,60—1,85	0,2—0,4	0,1—0,25	Основа	0,15	0,005	0,15	0,15	0,5

Механические свойства по ГОСТ или ТУ (не менее)

Марка	ГОСТ или ТУ	Вид полуфабриката	Состояние	Толщина, диаметр *мм*	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ_5 %	*HV* *кгс/мм²*	Глубина выдавливания, *мм**
БрБ2,5	ТУ 48-21-96-72	Полосы	Мягкие (закаленные)	0,15—0,25	—	—	—	6
				0,3—1,65	40—60	25	—	7
			Твердые (деформированные после закалки)	0,15—0,25	—	—	—	3
				0,3—1,65	70	1,5	—	3
			Отпущенные (после закалки)	—	—	—	340**	—
			Отпущенные (после деформации)	—	—	—	384**	—
БрБ2	ТУ-48-21-289-73	Прутки	Мягкие (отожженные)	—	40—60	30	*HB* ≥100****	—
			Твердые (нагартованные)	—	75—100	1	≥150****	—

Продолжение

Марка	ГОСТ или ТУ	Вид полуфабриката	Состояние	Толщина, диаметр *мм*	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ_5 %	*HV* *кгс/мм²*	Глубина выдавливания, *мм**
БрБ2; БрБНТ1,9	ГОСТ 1789—70	Полосы и лента	Мягкие (закаленные)	До 0,15	—	—	Не более	8
				0,15—0,25	40—60	20	130***	8
				Свыше 0,25	40—60	30	120	—
			Твердые (деформированные на 30—40%)	До 0,15	—	—	170***	3
				0,15—0,25	60—90	—	160	3
				Свыше 0,25	65—95	2,5		—
			Отпущенные (после закалки)	До 0,15	—	—		—
				0,15—0,25	110—150	—	330	—
				Свыше 0,25	115—150	2		—
			Отпущенные (после деформации)	До 0,15	—	—		—
				0,15—0,25	115—160	—	360	—
				Свыше 0,25	120—160	1,5		—
БрБНТ1,7	ГОСТ 1789—70		Твердые (деформированные на 30—40%)	До 0,15	—	—		3
				0,15—0,25	60—95	—	150	3
				Свыше 0,25	60—95	2,5		—
			Отпущенные (после деформации)	До 0,15	—	—		—
				0,15—0,25	110—150	—	340	—
				Свыше 0,25	110—150	2		—
БрБ2	ГОСТ 15834—70	Проволока	Мягкая (после закалки или отжига)	0,10—1,00	40—65	20	—	—
				1,10—5,00	40—65	25	—	—
				5,50—12,00	40—60	30	—	—
			Закаленная и отпущенная	0,06—0,90	110	—	—	—
				1,00—12,00	110	1,0	—	—

Продолжение

Марка	ГОСТ или ТУ	Вид полуфабриката	Состояние	Толщина, диаметр *мм*	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ_5 %	*HV* *кгс/мм²*	Глубина выдавливания, *мм* *
БрБ2	ГОСТ 15834—70	Проволока	Твердая (деформированная)	0,06—0,50	95—140	—	—	—
				0,55—5,00	75—120	—	—	—
				5,50—12,00	65—100	—	—	—
БрБ2	ГОСТ 15835—70	Прутки тянутые	Мягкие	10—40,0	40—60	25	100—150	—
			Твердые холоднотянутые	5,0—15,0	75—100	1,0	150	—
				16,0—40,0	65—90	1,0	150	—
			Закаленные и отпущенные	—	110	2,0	320	—
			Деформированные и отпущенные	—	120	2,0	340	—
		Прутки прессованные	Прессованные	—	45	20	—	—

Примечание. Лента из бронзы БрБ2 специального назначения выпускается по ТУ48-21-311-73; лента с пределом упругости не менее 55 *кгс/мм²* — по ТУ 48-21-265-73.

* Радиус пуансона 10 *мм*.

** По прибору ПМТ-33 с нагрузкой 200 *г*.

*** В числителе — для бронзы БрБ2, в знаменателе — для бронзы БрБНТ1,9

**** *НВ* 2,5/187,5/30.

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Марка	Вид полуфабриката	Состояние	*E*	$\sigma_{0,005}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_5	ψ	*HV*	σ_{-1} *
			кгс/мм²				%		*кгс/мм²*	
БрБ2,5	Полосы	Мягкие (закаленные)	12050	16	30	50	30	42	115	—
БрБ2	Лента и проволока		11700	13	25	45	40	65	90	—
БрБНТ1,9			11000	13	25	45	40	70	90	—
БрБНТ1,7			10700	12	22	44	50	75	85	—
БрБ2,5	Полосы	Твердые (закаленные и деформированные на 40%)	12300	50	80	90	2	—	270	—
БрБ2	Лента и проволока		12100	55	70	80	5	—	250	—
БрБНТ1,9			12100	55	70	80	5	—	240	—
БрБНТ1,7			12000	35	60	70	6	—	220	—
БрБ2,5	Полосы	Отпущенные (после закалки)	13600	85	110	130	2	—	390	—
БрБ2	Лента и проволока		13300	79	100	125	2,5	—	370	25
БрБНТ1,9			13150	79	100	125	2,5	—	370	25
БрБНТ1,7			12450	68	93	118	3,5	—	330	25
БрБ2,5	Полосы	Отпущенные (после закалки и деформации на 40%)	13800	100	130	140	1,5	—	410	30
БрБ2	Лента и проволока		12500	98	120	135	2	—	400	30
БрБНТ1,9			13400	98	118	140	2	—	400	30
БрБНТ1,7			13150	89	115	135	3	—	375	28

* На базе $1 \cdot 10^8$ циклов.

Испытание мембран

Марка	Вид полуфабриката	Состояние	Число циклов до разрушения *	Упругий гистерезис %
БрБ2,5	Полосы	Закаленные и отпущенные	7000	0,9
БрБ2			11000	0,7
БрБНТ1,9			12000	0,6
БрБНТ1,7			17000	0,5

* При давлении 100 *ати*.

Физические свойства

Плотность бронзы БрБ2 8250 *кг/м*³; бронзы БрБНТ1,7 — 8310 *кг/м*³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °С	20—300
$\alpha \cdot 10^6$ 1/*град*	17,6

Коэффициент теплопроводности

Температура, °С	20	
λ *вт/м · град*	105 (закаленное состояние)	130 (отпущенное состояние)

Удельное электросопротивление при 20°С

	Закаленное состояние	БрБ2	БрБНТ1,7
		отпущенное состояние	
$\rho \cdot 10^6$ *ом · см*	10	7,5	8

Удельная теплоемкость

$c = 0{,}419$ *кдж/кг · град*.

Коррозионная стойкость

Бронзы всех указанных марок коррозионностойки в атмосферных условиях, пресной и морской воде.

Технологические данные

Бронзы обрабатываются давлением в горячем и холодном состояниях (после закалки). Температура горячей обработки 750—800°С. В процессе штамповки из ленты толщиной до 1 *мм*, деформированной на 40%, допускается радиус закругления для бронз БрБ2 и БрБНТ1,9 4—5 *мм*, для бронзы БрБ2,5 — 6—8 *мм*. После отпуска сплавы приобретают высокие механические и упругие свойства.

Рекомендуемая температура нагрева под закалку 780°С (в воздушной среде или в среде диссоциированного аммиака, охлаждение в воде).

Для бронз БрБ2 и БрБНТ1,9 рекомендуется отпуск при 315°С в течение 3,5 *час*, для бронзы БрБ2,5 — при 295°С в течение 3,5 *час*. Бронзы БрБНТ1,9 и БрБНТ1,7 менее чувствительны к изменению температуры при отпуске. Свойства сплавов улучшаются после деформации в закаленном состоянии и последующего отпуска.

Температура литья 1030—1060°С.

Сплавы хорошо обрабатываются резанием и паяются, при ударе не дают искры.

Применение

Особо ответственные плоские пружины, пружинящие контакты и мембраны, радиаторные трубки, сильфоны. Бронзы БрБНТ1,9 и БрБНТ1,7 рекомендуются для упругих элементов, работающих при повышенных температурах и знакопеременных нагрузках.

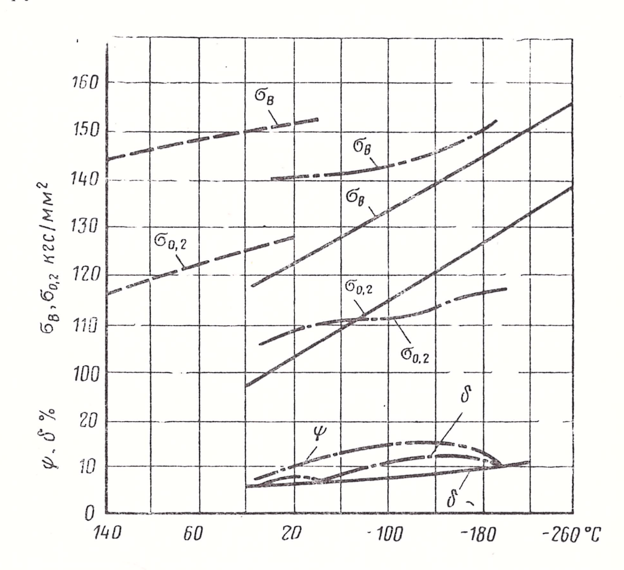


Рис. 1. Механические свойства полуфабрикатов из бронзы БрБ2 при различных температурах:

——— лист толщиной 1 *мм*, закаленный и отпущенный; — — — проволока диаметром 3 *мм*, закаленная и отпущенная; —·—·— пруток диаметром 19 *мм*, закаленный, деформированный на 20% и отпущенный.

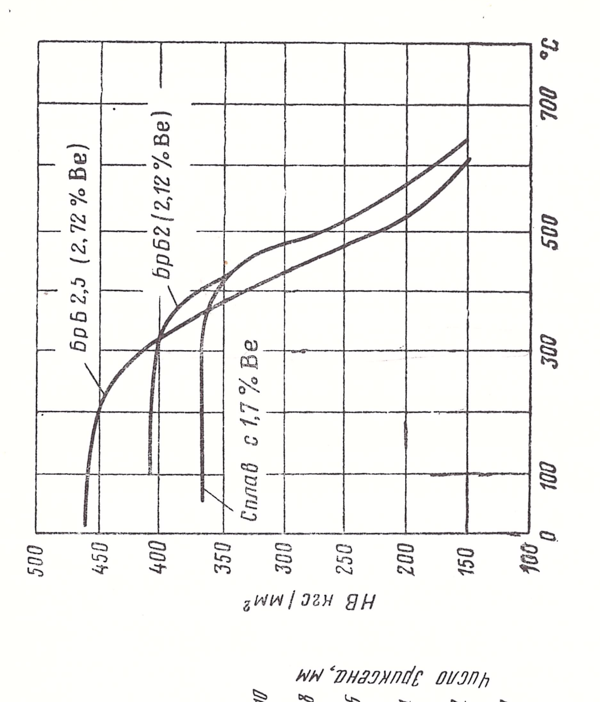


Рис. 3. Твердость бериллиевых бронз при высоких температурах.

Рис. 2. Зависимость механических свойств бронзы БрБ2 от степени деформации:
— — — до отпуска; ——— после отпуска.

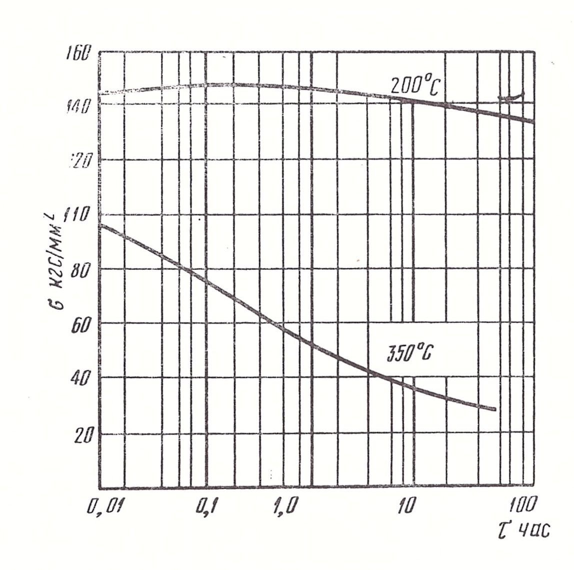


Рис. 4. Кривые длительной прочности холоднотянутой и отпущенной проволоки из бронзы БрБ2 при высоких температурах.

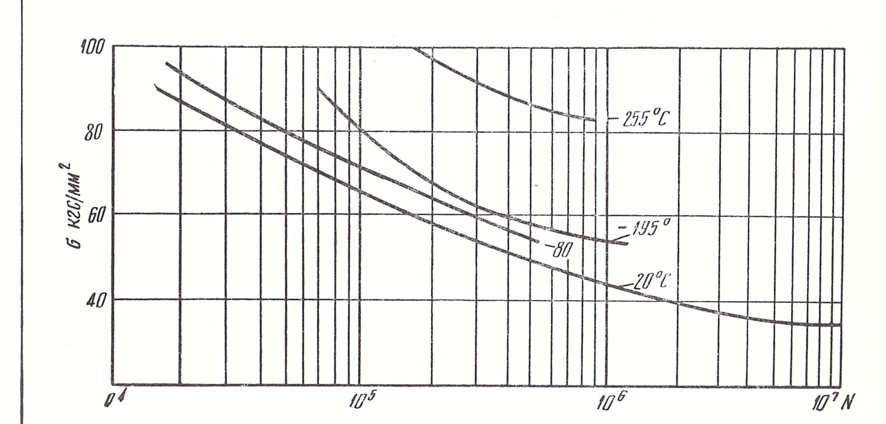


Рис. 5. Предел выносливости при изгибе закаленных и состаренных листов толщиной 0,5 *мм* из бериллиевых бронз при низких температурах.

Рис. 7. Релаксация напряжений отпущенной бронзы БрБНТ1,9 за 100 и 700 *час* при высоких температурах:

— — — деформация на 10% и отпуск;
——— закалка и отпуск.

Рис. 6. Термическое расширение бериллиевой бронзы БрБ2, деформированной на 20%, при различных температурах.

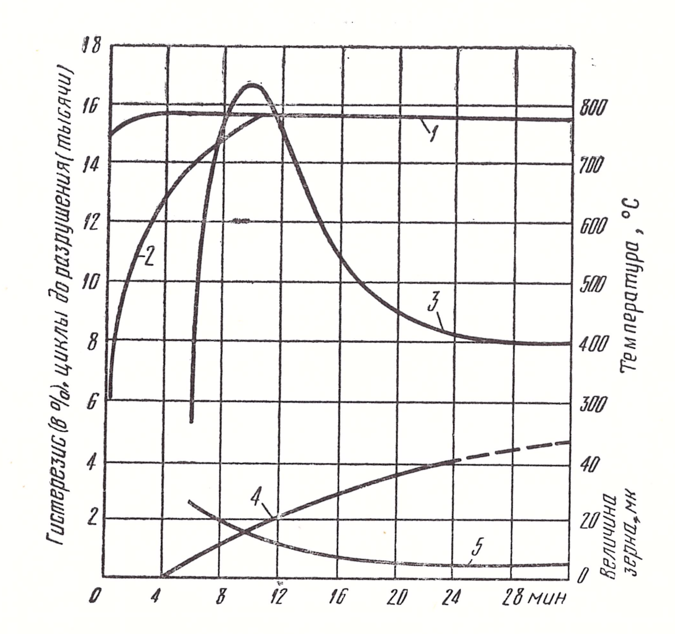


Рис. 8. Зависимость гистерезиса, циклической прочности и величины зерна мембран из бронзы БрБ2,5 от продолжительности нагрева под закалку и отпуска при 300°С в течение 1,5 *час*:

1 — температура печи; *2* — температура металла; *3* — циклическая прочность; *4* — величина зерна; *5* — гистерезис.

БРОНЗА КРЕМНЕМАРГАНЦОВИСТАЯ	**БрКМц3-1**

Химический состав в %

Si	Mn	Cu	Fe	Ni	Zn	Sn	P	Pb	As	Sb	Сумма примесей
			не более								
2,75—3,5	1,0—1,5	Основа	0,3	0,2	0,5	0,25	0,05	0,03	0,002	0,002	1,1

Механические свойства по ГОСТ или ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ	Состояние	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ_{10} * %
Полосы и лента	ГОСТ 4748—70	Мягкие	36	35
		Полутвердые	48—60	10
		Твердые	60—80	5
		Особо твердые	80	—
Лента	ТУ 48-21-234-72	Полутвердая	50	25
Прутки диаметром (*мм*):	ГОСТ 1628—72			
5— 12		Тянутые	50	10
13— 40			48	15
30—100		Катаные	40	15
30—100		Прессованные	35	20
Проволока диаметром (*мм*):	ГОСТ 5222—72			
0,1—1,0		Твердая	90	—
1,1—2,6			90	0,5
2,8—4,2			85	1
4,5—8,0			83	1,5
8,5—10			78	2

Примечание. Полосы и лента антимагнитные выпускаются по ТУ 48-21-267-73, прутки антимагнитные — по ТУ 48-21-60-72.

* На длине 100 *мм* (для проволоки).

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	$\sigma_{0,005}$ изг.	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_5	$\tau_{ср}$	HV	σ_{-1} * *кгс/мм²*
		кгс/мм²				%	*кгс/мм²*		
Лента	Мягкая	—	11,5	18	42	60	30	105	—
	Твердая (деформированная на 40%)	11300	28	42	70	6	42	180	17
	То же, отпущенная	11800	47	—	—	—	—	225	—
	Твердая (деформированная на 60%)	11200	46	54	78	5	—	220	—
	То же, отпущенная	11800	55	—	—	—	—	245	—
Проволока	Мягкая (отожженная)	10500	—	15	42	50	30	100	12,5
	Твердая (деформированная на 50%)	12000	—	48	95	4	48	220	16
Прутки	Тянутые	11500	—	38	64	22	42	190	16
Отливки в кокиль	Литые	10400	—	15	35	35	—	80	13

* На базе $1 \cdot 10^8$ циклов.

Релаксационная стойкость

Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{нач}$ *кгс/мм²*	Остаточное напряжение σ_R (*кгс/мм²*) за время в *час*				
			100	300	1000	10000	50000
Твердое (деформированное на 55%)	20	27,5	27	—	26,5	25,5	24,5
	100	40	—	32,5	—	—	—
	150	40	—	27,5	—	—	—
	200	40	—	18	—	—	—
То же, отпущенное	20	33,5	33,1	—	33	32,5	32
	100	40	—	34,5	—	—	—
	150	40	—	26	—	—	—
	200	40	—	19,5	—	—	—

Пределы ползучести

Температура испытания °С	$\sigma_{0,01/1000}$	$\sigma_{0,1/1000}$
	кгс/мм²	
200	5,6	10
290	2,5	4,5

Физические свойства

Плотность 8400 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—200
$\alpha \cdot 10^6$ 1/*град*	18

Коэффициент теплопроводности

$\lambda = 42$ *вт/м·град*.

Удельное электросопротивление

$\rho \cdot 10^6 = 15$ *ом·см*.

Магнитные свойства

Сплав немагнитен.

Коррозионная стойкость

Бронза обладает хорошей коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и удовлетворительной — в морской воде.

Технологические данные

Бронза хорошо обрабатывается давлением в горячем и холодном состояниях. Температура горячей обработки 800—850, отжига — 600—700°С, для повышения свойств — 260—300°С.

Бронза удовлетворительно сваривается, хорошо паяется мягкими и твердыми припоями; при ударе не дает искры; легко обрабатывается резанием.

Применение

Пружинящие и другие детали.

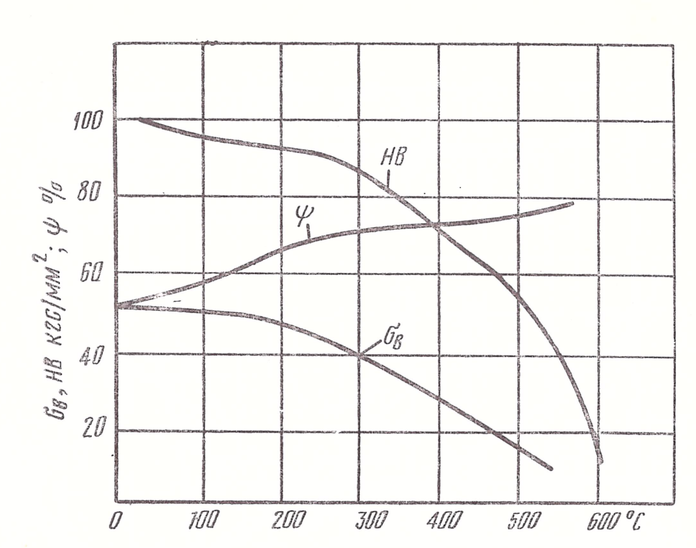


Рис. 1. Механические свойства прутков диаметром 25 *мм* из бронзы БрКМц3-1 при высоких температурах.

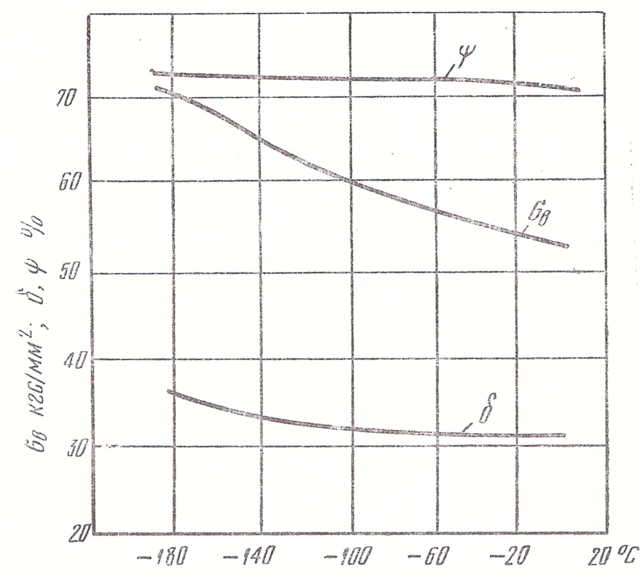


Рис. 2. Механические свойства холоднотянутых прутков диаметром 12 *мм* из бронзы БрКМц3-1 при низких температурах.

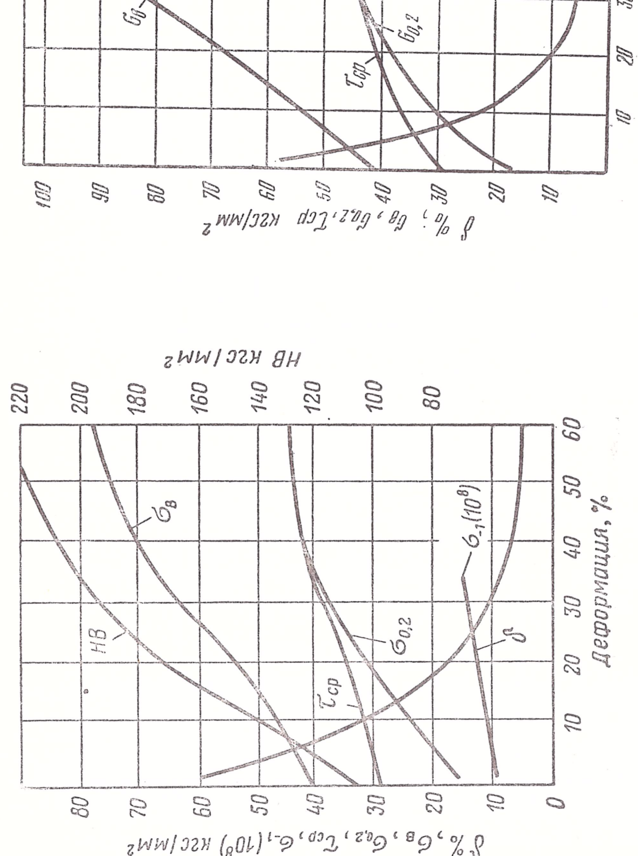


Рис. 3. Зависимость механических свойств листа толщиной 1 *мм* из бронзы БрКМц3-1 от степени деформации.

Рис. 4. Зависимость механических свойств проволоки диаметром 2 *мм* из бронзы БрКМц3-1 от степени деформации.

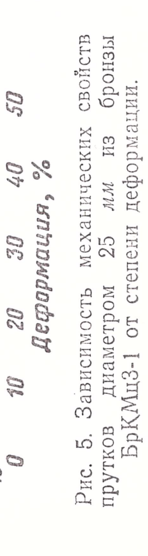


Рис. 5. Зависимость механических свойств прутков диаметром 25 *мм* из бронзы БрКМц3-1 от степени деформации.

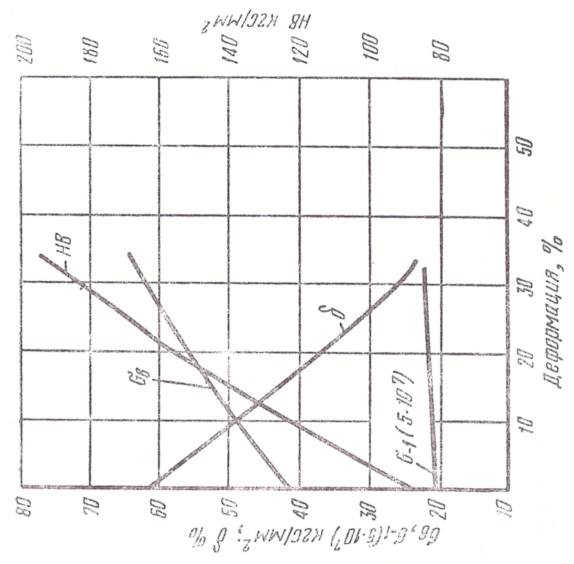


Рис. 6. Зависимость механических свойств трубок диаметром 25 *мм* и толщиной 1,7 *мм* из бронзы БрКМц3-1 от степени деформации.

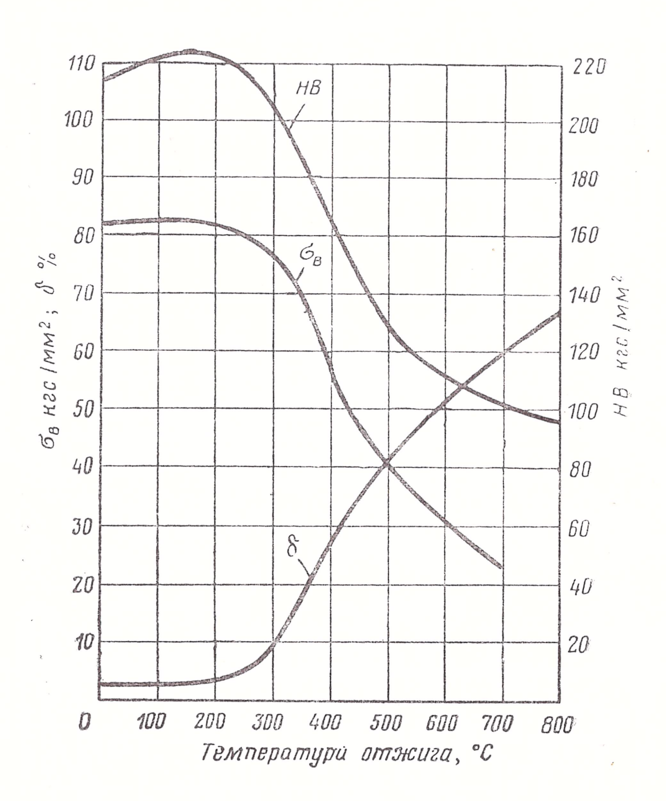


Рис. 7. Зависимость механических свойств полосы толщиной 2,5 *мм*, деформированной на 50%, из бронзы БрКМц3-1 от температуры отжига в течение 1 *час*.

КУНИАЛЬ Б	МНА6-1,5

Химический состав в %

Ni+Co	Al	Cu	Fe	Mn	Pb	Сумма примесей
			не более			
5,50—6,50	1,2—1,8	Основа	0,50	0,20	0,002	1,10

Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ %
Лента и полосы	ЦМТУ 08-96-68	Твердые (после отпуска)	55	3

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ_{10} %	*HB* *кгс/мм²*	$a_н$ *кгс · м/см²*
		кгс/мм²				
Лента	Твердая	70	—	6	160	—
Полосы	Мягкие	40	8	30	100	12
	Термически обработанные	75	—	9	210	—

Физические свойства

Плотность 8700 *кг/м³*.

Коррозионная стойкость

Сплав обладает высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях.

Технологические данные

Сплав дисперсионно-твердеющий. Обрабатывается давлением в горячем и холодном состояниях. Температура горячей обработки 850—900°С. Твердость и прочность повышаются после закалки с 900°С в воде и отпуска при 500°С в течение 2 *час*.

Рекомендуемая температура литья 1200—1250°С.

Применение

Пружины ответственного назначения, применяемые в различных отраслях промышленности.

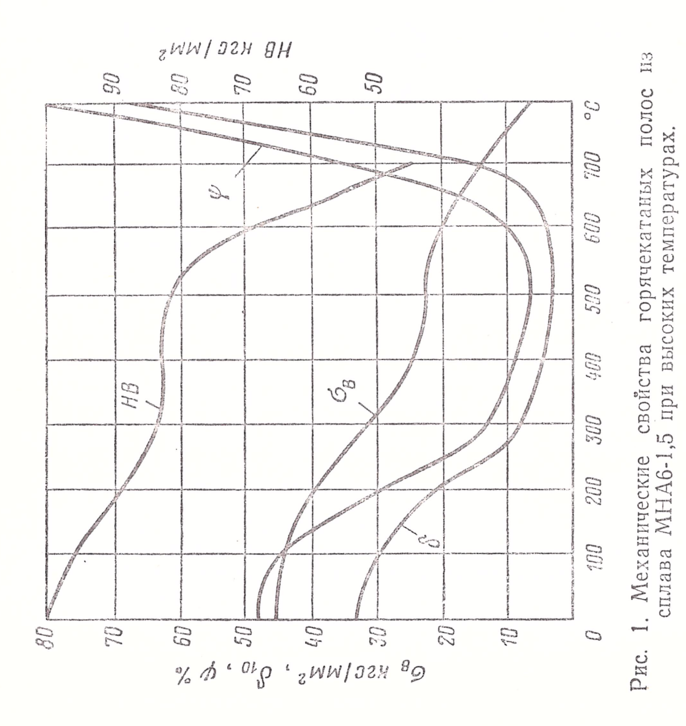


Рис. 1. Механические свойства горячекатаных полос из сплава МНА6-1,5 при высоких температурах.

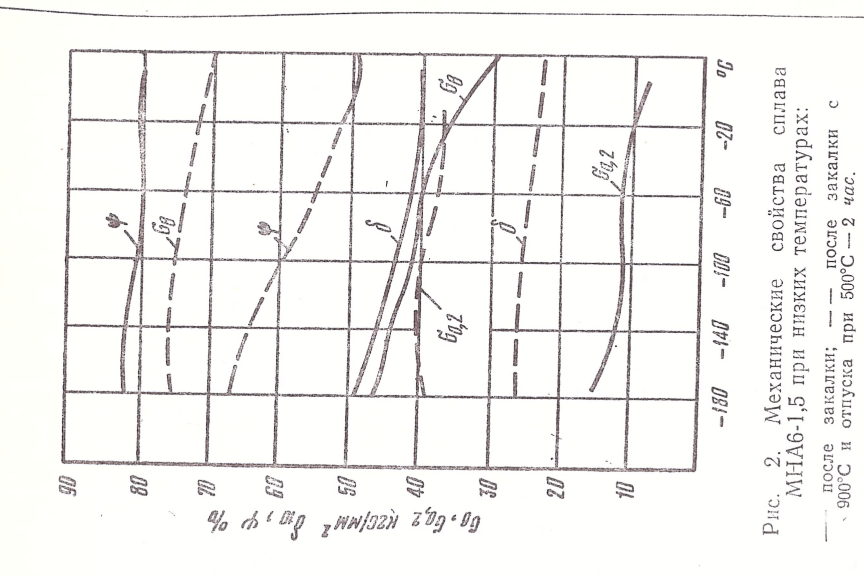


Рис. 2. Механические свойства сплава МНА6-1,5 при низких температурах:
—— после закалки; — — после закалки с 900°С и отпуска при 500°С — 2 *час*.

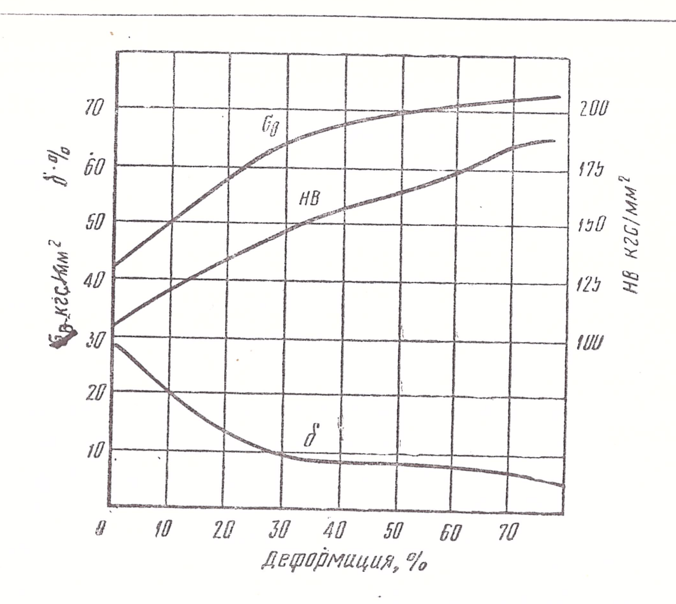


Рис. 3. Зависимость механических свойств горячекатаных полос из сплава МНА6-1,5 от степени деформации.

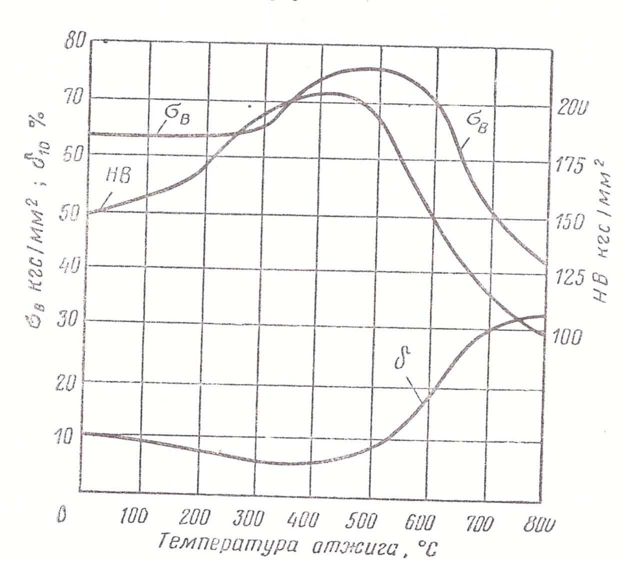


Рис. 4. Зависимость механических свойств листа толщиной 3 *мм*, деформированного на 40%, из сплава МНА6-1,5 от температуры отжига в течение 1 *час*.

БРОНЗА НИКЕЛЬАЛЮМИНИЕВОМАРГАНЦЕВАЯ | БрНАМцК6-6-2-1

Химический состав в %

Ni	Al	Si	Mn	Cu	Pb	Bi	Sb	S	Fe	Сумма примесей
					не более					
5—7,5	5—7	0,8—1,1	1,4—2,1	Основа	0,002	0,002	0,005	0,01	0,50	1,1

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	$\sigma_{0,005}$	$\sigma_в$	δ_{10} %	HV *кгс/мм²*
		кгс/мм²				
Полосы толщиной 0,15—2 *мм*	Закаленные	—	—	55	50	110
	Закаленные и отпущенные	—	55	95	5	300
	Деформированные на 40% и отпущенные	12500	80	120	2	340

Релаксационная стойкость при 150°С
(лента толщиной 0,3 *мм*)

Состояние	σ_0 *кгс/мм²*	Остаточное напряжение (σ_R) [*кгс/мм²*] за время, в *час*						
		5	10	40	100	500	800	1000
Деформированная на 40% и отпущенная	50	49,5	49	49	49	49	49	49
Деформированная на 10% и отпущенная	50	49,5	49	49	49	49	49	49
Закаленная и отпущенная	50	48,5	—	—	—	—	—	48

Физические свойства

Плотность 7900 *кг/м³*.

Удельное электросопротивление

$\rho \cdot 10^6 = 16$ *ом · см*.

Коррозионная стойкость

Бронза обладает высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях. Не склонна к сезонному растрескиванию.

Технологические данные

Бронза обрабатывается давлением в горячем и холодном состояниях до толщины 0,10 *мм* и получения фольги толщиной до 12 *мкм*.

Температура литья 1200, горячей обработки — 850—900, закалки — 900°С. Дисперсионное твердение для бронзы в закаленном и холоднокатаном состояниях при 500 и 450°С в течение 2 *час* соответственно. Пайка твердым припоем не вызывает затруднений; при пайке мягкими припоями поверхность подготовляют травлением сначала в щелочном растворе: 600 *г/л* $NaOH$, 200 *г/л* $NaNO_3$, 75 *г/л* $NaNO_2$ при 140°С, затем в 50%-ном растворе азотной или серной кислоты с 10 *г/л* $NaCl$ и 10 *г/л* HCl в течение 2—3 *сек*.

Применение

Пружины и чувствительные элементы в приборах. Бронза БрНАМцК6-6-2 может применяться как заменитель бериллиевой бронзы, где не требуется высокоупругих свойств.

АНТИФРИКЦИОННЫЕ МЕДНЫЕ СПЛАВЫ

К лучшим антифрикционным сплавам относятся литейные, содержащие значительные количества олова, сурьмы и свинца.

Бронза БрО19 относится к числу антифрикционных сплавов с высокими пружинящими свойствами и применяется для изготовления маслоуплотнительных колец различных узлов трения.

Бронза БрОФ10-1, содержащая до 8—10% Sn и до 1% P, обладает самыми высокими механическими свойствами из всех литейных бронз этой категории и применяется для узлов трения, работающих со смазкой при высоких удельных нагрузках.

Высокие механические свойства имеет также литейная бронза БрОСН10-2-3. Этот сплав благодаря содержанию нескольких процентов свинца более легко обрабатывается.

Бронза оловянистая БрОС10-10 с содержанием свинца от 6 до 11% обладает по сравнению с рассмотренными выше бронзами более низкими механическими свойствами, но зато более пригодна для работы на трение при менее удовлетворительной смазке. Поэтому ее применяют для изготовления подшипников, шайб, дисков и втулок различных узлов трения, работающих в средах бензина, керосина, воды и других маловязких жидкостей. Включения свинца в структуре должны быть мелкозернистыми и распределяться равномерно.

Высокими антифрикционными свойствами, обеспечивающими работу при больших скоростях скольжения (до 50 *м/сек*), обладает оловянносвинцовистая бронза БрОС5-25, которая хорошо прирабатывается благодаря высокому содержанию свинца. Она неприменима для узлов трения, работающих при температурах выше 150—200°С, и требует специальных условий литья, так как склонна к ликвации свинца.

Вследствие высокой стоимости олова в последние годы для изготовления неответственных деталей применяются сплавы с более низким содержанием этого элемента—бронзы типа БрОЦС6-6-3, обладающие удовлетворительными механическими и антифрикционными свойствами.

Для оловянистых бронз допускается любой вид механической обработки. Лучше обрабатываются резанием сплавы, содержащие свинец.

Для деталей трения, обладающих высокими антифрикционными свойствами, особенно при работе в среде керосина и других маловязких жидкостей (топливные насосы реактивных двигателей и др.), применяются сурьмянистые бронзы. В авиационной промышленности наиболее широко применяются сурьмянистые бронзы марок ВБ-24, ВБ-23, ВБ-23НЦ и ВБ-24Н. Сурьмянистые бронзы хорошо противостоят действию керосиновых топлив. Наиболее коррозионностойкой является бронза ВБ-24Н. Из сурьмянистых бронз изготовляются роторы топливных насосов и подпятники, а также подшипники в виде втулок, детали фильтров и др.

Для нагруженных подшипников коленчатых валов и других подобных деталей широко применяются и так называемые «подшипниковые» бронзы марок БрС30 и БрОС1-22. Эти бронзы, называемые свинцовистыми, характеризуются высокими антифрикционными свойствами, особенно высоким сопротивлением заеданию, но обладают невысокими механическими свойствами и поэтому применяются в виде биметалла, получаемого методом заливки слоя бронзы по стальному корпусу подшипника. Благодаря биметаллической конструкции подшипники могут работать (в условиях хорошей смазки) при высоких скоростях скольжения (10—15 *м/сек*), очень больших удельных нагрузках (до 300 *кгс/см*²) и циклических нагрузках ударного характера. Свинцовистая бронза марки БрОС1-22 с добавкой олова обладает более высоким пределом выносливости, но более низким сопротивлением заеданию, чем бронза БрС30.

Оловянистые бронзы хорошо свариваются стыковой сваркой сопротивлением и удовлетворительно — газовой.

Газовая сварка оловянистых бронз выполняется с флюсами, применяемыми для сварки меди, и с присадочной проволокой, по составу близкой к бронзе марки БрОФ6,5-0,4.

Свинцовистые бронзы плохо свариваются.

Оловянистые, оловяннофосфористые и сурьмянофосфористые бронзы удовлетворительно паяются мягкими припоями типа ПОС, ВПр6 и ВПр9 с применением активированных флюсов, а также серебряными типа ПСр40 с применением флюса № 209.

Оловянистые и сурьмянистые бронзы со свинцом удовлетворительно паяются только мягкими припоями.

Сплавы на основе олова, известные под названием баббитов, обладают исключительно высокими антифрикционными свойствами. Применяются они также в виде слоя, заливаемого по стальному корпусу подшипника. Превосходя свинцовистые бронзы по антифрикционным свойствам, оловянистые баббиты уступают им в отношении усталостной прочности.

Высокие антифрикционные свойства имеют и мягкие свинцово-индиевые и свинцовооловянистые сплавы, применяемые для покрытий, наносимых тонким слоем (толщиной 10—20 *мкм*) электролитическим способом на трущиеся поверхности нагруженных подшипников, втулок, подпятников и других деталей. Эти сплавы содержат 8—12% Sn или индия. Покрытия облегчают приработку подшипника и предохраняют металл от заедания в течение всего срока службы детали. В подшипниках качения для сепараторов из медных и алюминиевых сплавов они служат надежным средством повышения работоспособности деталей при трении в масле.

БРОНЗА ВЫСОКООЛОВЯНИСТАЯ	БрО19

Химический состав в %

Sn	Cu	Fe	Pb	Sb	Zn	P	Al	Si	Bi	Сумма примесей
		не более								
18,0—19,5	Основа	0,3	0,5	0,3	0,2	0,1	0,02	0,02	0,02	0,02

Механические свойства по ОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ОСТ	Состояние	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_{10} %	HB кгс/мм²
Отливки (литье в кокиль стационарным или центробежным методом)	ОСТ1 90054—72	Литые	30	0,5	160

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10} %	HB кгс/мм²	$a_н$ кгс · м/см²
		кгс/мм²					
Отливки (в кокиль)	Литые	9800	25	32	0,8	170	0,2
	Отожженные при 450°С в течение 2 час	—	22	30	0,8	170	0,2

Физические свойства

Плотность 8600 кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °С	20—300
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	19,8

Антифрикционные свойства

Коэффициент трения*

со смазкой 0,012;
без смазки 0,2.

* Здесь и в дальнейшем приводятся значения коэффициента трения, полученные при испытании бронз в паре со сталью 30ХГСА на машине МИ-1: со смазкой маслом МС-20 при нагрузке 75 кгс/см²; в среде керосина — при нагрузке 25 кгс/см²; без смазки — при нагрузке 12,5 кгс/см².

Коррозионная стойкость

Бронза обладает хорошей коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, пресной и морской воде.

Технологические данные

Температура литья 1100—1150°С. Для фиксации разъема замка маслоуплотнительных колец применяется отжиг при 450°С в течение 2 час. Бронза хорошо обрабатывается резанием.

Применение

Маслоуплотнительные кольца.

БРОНЗА ОЛОВЯННОФОСФОРИСТАЯ	БрОФ10-1

Химический состав в %

Sn	P	Cu	Fe	Pb	Sb	Zn	Al	Si	Bi	Сумма примесей
			не более							
9,0—11,0	0,4—1,0	Основа	0,3	0,3	0,3	0,3	0,02	0,02	0,02	0,9

Механические свойства по ОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ОСТ	Состояние	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ_{10} %	*HB* *кгс/мм²*
Отливки:	ОСТ1 90054—72	Литые			
в кокиль			25	3	90
в землю			22	3	80
Отливки (точное литье)	ОСТ1 90046—72		25	10	90

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	*E*	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10} %	*HB* *кгс/мм²*	$a_н$ *кгс · м/см²*
		кгс/мм²					
Отливки:	Литые						
в кокиль		10000	16	30	3,5	120	0,9
в землю		—	14	25	3,5	90	0,6

Физические свойства

Плотность 8750 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—400
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	17	22

Коэффициент теплопроводности

$\lambda = 49{,}0$ *вт/м · град.*

Удельная теплоемкость

$c = 0{,}396$ *кдж/кг · град.*

Антифрикционные свойства

Бронза имеет отличные антифрикционные свойства, хорошо противостоит износу.

Коэффициент трения:

со смазкой — 0,012;
без смазки — 0,2.

Коррозионная стойкость

Бронза обладает высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и пресной воде и хорошей — в морской воде.

Технологические данные

Температура литья 1150—1200°С. Линейная усадка 1,44%. Материал хорошо обрабатывается резанием.

Применение

Детали в виде втулок, работающие на трение в условиях смазки при высоких нагрузках и скоростях скольжения, а также шестерни и специальные гайки.

БРОНЗА ОЛОВЯННОСВИНЦОВОНИКЕЛЕВАЯ — БрОСН10-2-3

Химический состав в %

Sn	Pb	Ni	Cu	Fe	Sb	Zn	P	Al	Si	Bi	Сумма примесей
				не менее							
9,0—11,0	2,0—3,25	3,0—4,0	Основа	0,3	0,3	0,5	0,1	0,02	0,02	0,02	1,2

Механические свойства по ОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ОСТ	Состояние	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_{10} %	HB кгс/мм²
Отливки (в кокиль)	ОСТ1 90054—72	Литые	25	5	75

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	$\sigma_{0,2}$ кгс/мм²	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_{10} %	HB кгс/мм²	$a_н$ кгс · м/см²
Отливки (в кокиль)	Литые	18	30	8	85	1

Физические свойства

Плотность 8600 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—300
$\alpha \cdot 10^6$ 1/*град*	18,8

Антифрикционные свойства

Бронза БрОСН10-2-3 имеет хорошие антифрикционные свойства.

Коэффициент трения

со смазкой — 0,015;
без смазки — 0,25.

Коррозионная стойкость

Бронза обладает высокой коррзионной стойкостью в атмосферных условиях и пресной воде и хорошей — в морской воде.

Технологические данные

Температура литья 1150—1200°С. Материал отлично обрабатывается резанием.

Применение

Детали, работающие на трение в условиях смазки при высоких нагрузках и скоростях скольжения: упорные и направляющие втулки, золотники, подпятники и др.

БРОНЗА ОЛОВЯННОСВИНЦОВИСТАЯ	БрОС10-10

Химический состав в %

Sn	Pb	Cu	Fe	Sb	Zn	P	Al	Si	Bi	Сумма примесей
			не более							
8,0—10,0	6,0—11,0	Основа	0,25	0,3	0,3	0,3	0,02	0,02	0,02	0,8

Механические свойства по ОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ОСТ	Состояние	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ_{10} %	*HB* *кгс/мм²*
Отливки (в кокиль)	ОСТ1 90054—72	Литые	20	5	65
Отливки (точное литье)	ОСТ1 90046—72	Литые	20	10 (δ_5)	55

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	*E*	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10} %	*HB* *кгс/мм²*	$a_н$ *кгс·м/см²*
		кгс/мм²					
Отливки (в кокиль)	Литые	8000	15	25	6	75	0,9

Физические свойства

Плотность 9100 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—300
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	19,2

Коэффициент теплопроводности

Температура °С	20	100	200
λ *вт/м · град*	45,2	50,2	56,5

Удельное электросопротивление

Температура °С	20	100	200
$\rho \cdot 10^6$ *ом · см*	17,0	18,0	19,5

Антифрикционные свойства

Бронза обладает отличными антифрикционными свойствами, легко прирабатывается, не склонна к заеданию и хорошо противостоит износу.

Коэффициент трения:

со смазкой 0,010;
без смазки 0,18.

Коррозионная стойкость

Бронза обладает хорошей коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и в пресной воде.

Технологические данные

Температура литья 1100—1150°С. Линейная усадка 1,37%. Материал отлично обрабатывается резанием.

Применение

Детали, работающие на трение в условиях смазки при средних нагрузках и высоких скоростях скольжения: втулки, золотники, подпятники, а также детали водяных и топливных насосов.

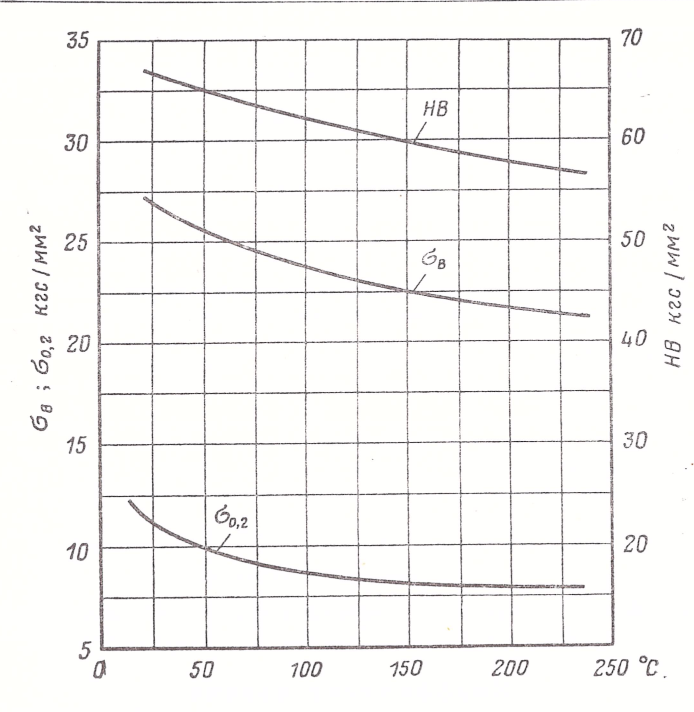


Рис. 1. Механические свойства бронзы БрОС10-10 при высоких температурах.

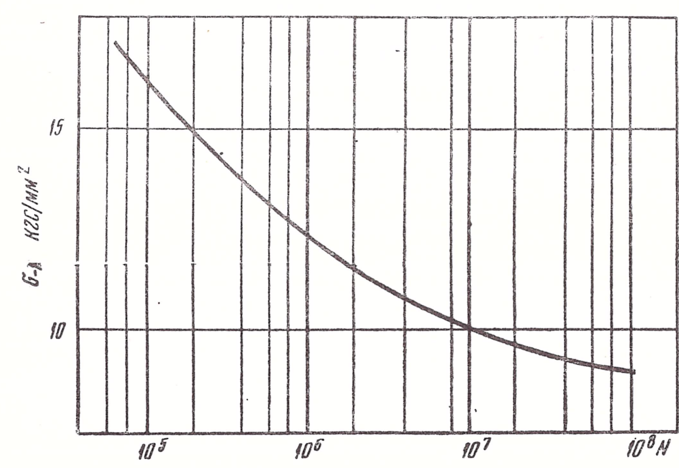


Рис. 2. Кривая выносливости при изгибе бронзы БрОС10-10.

БРОНЗА ОЛОВЯННОСВИНЦОВИСТАЯ	БрОС5-25

Химический состав в %

Sn	Pb	Cu	Fe	Sb	Zn	P	Al	Si	Bi	Ni	Сумма примесей
			не более								
4,0—6,0	23,0—27,0	Основа	0,25	0,3	0,2	0,1	0,02	0,02	0,01	2,0	0,75 *

* Без никеля.

Механические свойства по ОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ОСТ	Состояние	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_{10} %	НВ кгс/мм²
Отливки (в кокиль)	ОСТ1 90054—72	Литые	14	6	50

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10} %	$\sigma_{в\ сж}$	НВ	$a_н$ кгс · м/см²
		кгс/мм²				кгс/мм²		
Отливки (в кокиль)	Литые	7500	10	15	9	40	55	0,9

Физические свойства

Плотность 9200 кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—100	20—300
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	18,0	19,3

Коэффициент теплопроводности

$\lambda = 59{,}0$ *вт/м·град.*

Антифрикционные свойства

Бронза обладает отличными антифрикционными свойствами, легко прирабатывается и не склонна к заеданию.

Коэффициент трения:

со смазкой — 0,008;
без смазки — 0,15.

Коррозионная стойкость

Бронза обладает хорошей коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и в пресной воде.

Технологические данные

Температура литья 1050—1100°С. Линейная усадка 1,5%. Жидкотекучесть, выраженная длиной спирали металла, залитого в земляную форму при 1070°С, составляет 40 *см*. Материал отлично обрабатывается резанием.

Применение

Детали, работающие на трение в условиях смазки при средних и высоких скоростях скольжения: втулки, золотники, подпятники, а также детали водяных и топливных насосов.

БРОНЗА ОЛОВЯННОСВИНЦОВИСТАЯ	БрОЦС6-6-3

Химический состав в %

Sn	Zn	Pb	Cu	Fe	Sb	P	Al	Si	Bi	Сумма примесей
				не более						
5,0—7,0	5,0—7,0	2,0—4,0	Основа	0,4	0,5	0,05	0,05	0,02	0,02	1,3

Механические свойства по ОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ОСТ	Состояние	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ_{10} %	*HB* *кгс/мм²*
Отливки (в кокиль)	ОСТ1 90054—72	Литые	18	4	60
Отливки (точное литье)	ОСТ1 90046—72	»	18	10 (δ_5)	60

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	*E*	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10} %	*HB* *кгс/мм²*	$a_н$ *кгс·м/см²*
		кгс/мм²					
Отливки (в кокиль)	Литые	9000	8	20	8	65	2,0

Физические свойства

Плотность 8820 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—100	20—300
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	17,1	18,2

Коэффициент теплопроводности

$\lambda = 63{,}0$ *вт/м·град.*

Антифрикционные свойства

Бронза обладает удовлетворительными антифрикционными свойствами.

Коэффициент трения

со смазкой 0,015;
без смазки 0,25.

Коррозионная стойкость

Материал обладает хорошей коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и в пресной воде

Технологические данные

Температура литья 1150—1200°С. Линейная усадка 1,6%. Жидкотекучесть, выраженная длиной спирали металла, залитого в земляную форму при 1200°С, составляет 40 *см*. Материал отлично обрабатывается резанием.

Применение

Детали трения, работающие в условиях смазки при средних нагрузках и скоростях скольжения; втулки и арматура агрегатов.

БРОНЗА СУРЬМЯНОСВИНЦОВИСТАЯ | ВБ-23 (БрСуСФ6-12-0,3)

Химический состав в %

Sb	Pb	P	Cu	Fe	Sn
				не более	
4,5—6,0	10,0—14,0	0,1—0,3	Основа	0,3	0,5

Продолжение

Ni	Zn	As	Al	Si	Bi	Сумма примесей
не более						
0,5	0,3	0,1	0,02	0,02	0,025	1,2

Механические свойства по ОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ОСТ	Состояние	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ_5 %	*HB* *кгс/мм²*
Отливки (в кокиль)	ОСТ1 90054—72	Литые	15	2	60

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	*E*	*G*	μ	$\sigma_{пц}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10}	ψ	$\sigma_{0,2сж}$	*HB*	$a_н$ *кгс·м/см²*	σ_{-1}* *кгс/мм²*
		кгс/мм²			*кгс/мм²*			%		*кгс/мм²*			
Отливки (в кокиль)	Литые	7800	2800	0,39	4	10	18	3	5	9	70	0,3	8

* На базе $2 \cdot 10^7$ циклов.

Механические свойства при повышенных температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_5 %	HB кгс/мм²
Отливки (в кокиль)	Литые	20	18	3,5	62
		100	17	3,0	58
		150	17	3,5	54

Механические свойства при низких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_5 %
Отливки (в кокиль)	Литые	20	18	3,5
		—40	19	3,5
		—70	20	3

Физические свойства

Плотность 8900 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—200
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	17,8

Коэффициент теплопроводности

$\lambda = 44{,}0$ *вт/м · град.*

Антифрикционные свойства

Бронза обладает отличными антифрикционными свойствами, легко прирабатывается, не склонна к заеданию и хорошо противостоит износу.

Коэффициент трения

со смазкой — 0,010;
в среде керосина — 0,13;
без смазки — 0,18.

Коррозионная стойкость

Бронза обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью в атмосферных условиях.

Технологические данные

Температура литья 1100—1140°C. Линейная усадка 1,2%. Жидкотекучесть, выраженная длиной спирали металла, залитого в земляную форму при 1120—1140°C, составляет 40—44 *см*.

Материал отлично обрабатывается резанием.

Применение

Детали, работающие на трение в условиях смазки при высоких скоростях скольжения: подшипники в виде втулок, подпятники, а также золотники и втулки агрегатов топливной аппаратуры.

БРОНЗА СУРЬМЯНОСВИНЦОВИСТАЯ — ВБ-23НЦ (БрСуНЦСФ3-3-3-20-0,2)

Химический состав в %

Sb	Pb	Ni	Zn	P	Cu
3,0—4,0	18,0—22,0	3,0—4,0	3,0—4,0	0,15—0,30	Основа

Продолжение

Fe	Al	Si	Bi	As	Sn	Сумма примесей
не более						
0,3	0,02	0,02	0,025	0,1	0,5	0,9

Механические свойства по ОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ОСТ	Состояние	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_5 %	HB кгс/мм²
Отливки (в кокиль)	ОСТ1 90054—72	Литые	16	2	65

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	$\sigma_{пц}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10}	ψ	HB	$\sigma_{0,2\ сж}$	$a_н$ кгс·м/см²	σ_{-1} * кгс/мм²
		кгс/мм²				%		кгс/мм²			
Отливки (в кокиль)	Литые	7500	4	11	17	4	5	70	10	0,3	8

* На базе $2 \cdot 10^7$ циклов.

Механические свойства при повышенных температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_5 %	HB кгс/мм²
Отливки (в кокиль)	Литые	100	18	5	72
		200	18	5	70
		250	17	4	64
		300	15	3	54

Механические свойства при низких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_5	ψ
				%	
Отливки (в кокиль)	Литые	—40	21	6	6
		—70	22	5	6

Физические свойства

Плотность 9150 кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	—50 ÷ +20	20—100	100—200	20—300
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	15,9	17,4	18,2	17,5

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	100	200	300	400
λ вт/м·град	54,0	63,0	71,0	80,0

Антифрикционные свойства

Бронза обладает отличными антифрикционными свойствами, легко прирабатывается, не склонна к заеданию и хорошо противостоит износу.

Коэффициент трения

со смазкой — 0,008;
в среде керосина — 0,11;
без смазки — 0,15.

Коррозионная стойкость

Бронза обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью в атмосферных условиях.

Технологические данные

Температура литья 1000—1040°С. Линейная усадка 1,2—1,3%. Жидкотекучесть, выраженная длиной спирали металла, залитого в земляную форму при 1000—1030°С, составляет 30 *см.* Материал отлично обрабатывается резанием.

Применение

Детали, работающие на трение при температурах до 250°С в условиях высоких нагрузок и скоростей скольжения в среде керосиновых топлив и масел, в частности — детали трения агрегатов топливной аппаратуры: золотники, роторы, подпятники.

Для деталей, работающих на трение при температурах до 300°С, рекомендуется применять сурьмяносвинцовистую бронзу типа ВБр2 с повышенным содержанием сурьмы (3,4—4,5%), никеля (4,5—6,0%) и фосфора (0,25—0,40%), имеющую более высокое сопротивление пластической деформации и повышенную износостойкость.

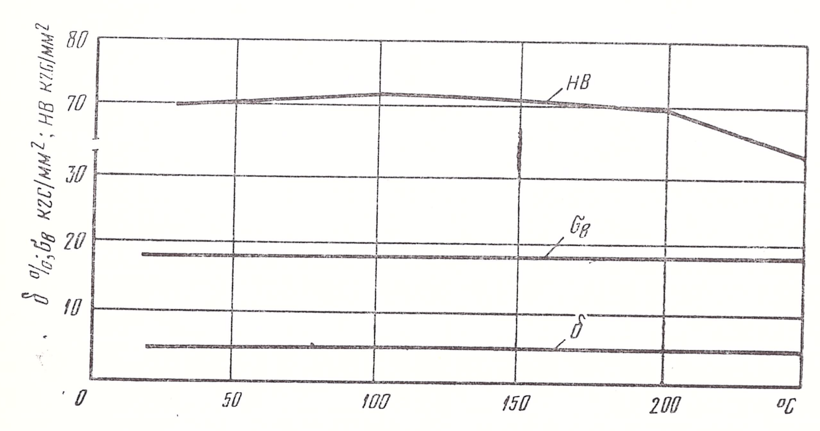


Рис. 1. Механические свойства бронзы ВБ-23НЦ при высоких температурах.

БРОНЗА СУРЬМЯНОФОСФОРИСТАЯ	ВБ-24 (БрСуФ6-1)

Химический состав в %

Sb	P	Cu	Fe	Pb	Zn	Sn	Ni	As	Al	Si	Bi	Сумма примесей
			не более									
4,7—6,2	0,4—0,9	Основа	0,3	0,5	0,3	0,5	0,5	0,1	0,02	0,02	0,025	1,2

Механические свойства по ОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ОСТ	Состояние	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_5 %	HB кгс/мм²
Отливки (в кокиль)	ОСТ1 90054—72	Литые	22	5	80

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E (кгс/мм²)	G (кгс/мм²)	μ	$\sigma_{пц}$ (кгс/мм²)	$\sigma_{0,2}$ (кгс/мм²)	$\sigma_в$ (кгс/мм²)	δ_5 (%)	ψ (%)
Отливки (в кокиль)	Литые	9500	3600	0,32	5	10	26	8	10

Продолжение

Вид полуфабриката	Состояние	$\sigma_{0,2\ сж}$ кгс/мм²	Δ %	$\tau_{ср}$ (кгс/мм²)	HB (кгс/мм²)	$a_н$ кгс · м/см²	σ_{-1} * кгс/мм²
Отливки (в кокиль)	Литые	10	60	22	90	0,6	11

* На базе $2 \cdot 10^7$ циклов.

Механические свойства при повышенных температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_5 %	HB кгс/мм²
Отливки (в кокиль)	Литые	20 90 140	29 29 29	11 12 13	88 86 84

Механические свойства при низких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_5	ψ
				%	
Отливки (в кокиль)	Литые	20	29	11	10
		—40	29	9	8
		—70	29	7	7

Физические свойства

Плотность 8500 кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—200
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	17,2

Коэффициент теплопроводности

$\lambda = 46{,}0$ вт/м · град.

Антифрикционные свойства

Бронза имеет хорошие антифрикционные свойства, легко прирабатывается и хорошо противостоит износу.

Коэффициент трения:

со смазкой — 0,012;
в среде керосина — 0,13;
без смазки — 0,20

Коррозионная стойкость

Бронза обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и в керосине.

Технологические данные

Температура литья 1100—1140°С. Линейная усадка 1,2—1,3%. Жидкотекучесть, выраженная длиной спирали металла, залитого в земляную форму при 1120—1140°С, составляет 30—40 см. Материал хорошо обрабатывается резанием.

Применение

Детали, работающие на трение в условиях смазки: подшипники в виде втулок, подпятники, а также роторы и золотники агрегатов топливной аппаратуры.

БРОНЗА СУРЬМЯНОНИКЕЛЕВАЯ	ВБ-24Н (БрСуН6-2)

Химический состав в %

Sb	Ni	Zn	Cu	Fe	Pb
				не более	
5,2—6,3	2,0—3,0	0,4—1,0	Основа	0,3	0,5

Продолжение

Sn	P	As	Al	Si	Bi	Сумма примесей
не более						
0,5	0,2	0,1	0,02	0,02	0,025	1,3

Механические свойства по ОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ОСТ	Состояние	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_5 %	HB кгс/мм²
Отливки (в кокиль)	ОСТ1 90054—72	Литые	26	6	82

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	$\sigma_{пц}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_5	ψ
		кгс/мм²				%	
Отливки (в кокиль)	Литые	10500	7	12	28	7	9

Продолжение

Вид полуфабриката	Состояние	$\sigma_{0,2\,сж}$ кгс/мм²	Δ %	$\tau_{ср}$	HB	$a_н$ кгс · м/см²	σ_{-1} * кгс/мм²
				кгс/мм²			
Отливки (в кокиль)	Литые	12	50	24	90	0,4	11

* На базе $2 \cdot 10^7$ циклов.

Механические свойства при повышенных температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_5 %	HB кгс/мм²
Отливки (в кокиль)	Литые	20	33	8	100
		90	33	8	93
		140	32	10	89

Механические свойства при низких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_5 %
Отливки (в кокиль)	Литые	20	33	8
		—40	32	8
		—70	33	7

Физические свойства

Плотность 8700 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—200
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	16,8

Коэффициент теплопроводности

λ=63,0 *вт/м · град.*

Антифрикционные свойства

Бронза имеет хорошие антифрикционные свойства и хорошо противостоит износу.

Коэффициент трения:

со смазкой — 0,015;
в среде керосина — 0,15;
без смазки — 0,20.

Коррозионная стойкость

Бронза обладает хорошей коррозионной стойкостью.

Технологические данные

Температура литья 1140—1160°С. Линейная усадка 1,2—1,3%. Жидкотекучесть, выраженная длиной спирали металла, залитого в земляную форму при 1140—1160°С, составляет 30—35 *см*. Удовлетворительно обрабатывается резанием.

Применение

Детали трения агрегатов топливной аппаратуры: втулки, подпятники, золотники, роторы, работающие в топливе из сернистой нефти.

БРОНЗЫ ОЛОВЯННОСВИНЦОВИСТАЯ И СВИНЦОВИСТАЯ	БрОС1-22; БрС30

Химический состав в %

Марка сплава	Sn	Pb	P	Cu	Fe	Sb	Ni
					не более		
БрОС1-22	1,0—2,0	20,0—24,0	0,03—0,08	Основа	0,25	0,3	0,5
БрС30	—	27,0—31,0	0,03—0,08	Основа	0,25	0,3	0,5

Продолжение

Марка сплава	Zn	As	Sn	Al	Si	Bi	Сумма примесей
	не более						
БрОС1-22	0,1	0,1	—	0,01	0,02	0,015	0,6 *
БрС30	0,1	0,1	0,1	0,01	0,02	0,015	0,8 **

* Без никеля.
** Без никеля и олова.

Механические свойства по ОСТ (не менее)

Марка сплава	Вид полуфабриката	ОСТ	Состояние	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_{10} %	HB кгс/мм²
БрОС1-22	Отливки (в кокиль)	ОСТ1 90054—72	Литые	10	6	35
БрС30				6	4	25

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Марка сплава	Вид полуфабриката	Состояние	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	$S_к$	δ_{10}	ψ
			кгс/мм²			%	
БрОС1-22	Отливки (в кокиль)	Литые	5	12	13	10	10
БрС30			3,5	8,5	9,5	9	9

Продолжение

Марка сплава	Вид полуфабриката	Состояние	$\sigma_{0,2\ сж}$	$\tau_в$	HB	$a_н$ кгс·м/см²	σ_{-1} *, кгс/мм² образец гладкий	σ_{-1} *, кгс/мм² образец с надрезом $\alpha_k = 2{,}2$
			кгс/мм²					
БрОС1-22	Отливки (в кокиль)	Литые	35	10	40	0,6	5,5	4,2
БрС30			21	6	30	0,4	3	2,2

* На базе $2 \cdot 10^7$ циклов.

Физические свойства

Марка сплава	БрОС1-22	БрС30
Плотность, *кг/м³*	9200	9400

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—250	20—250
$\alpha \cdot 10^6$ 1/*град*	18,6	18,4

Коэффициент теплопроводности

Марка сплава	БрОС1-22	БрС30
λ *вт/м · град*	130	142

Антифрикционные свойства

В биметаллических конструкциях бронзы БрОС1-22 и БрС30 обладают отличными антифрикционными свойствами, выдерживают большие нагрузки, легко прирабатываются и не склонны к заеданию.

Коэффициент трения:

со смазкой — 0,008;
без смазки — 0,16.

Коррозионная стойкость

Бронзы обладают хорошей коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и в пресной воде.

Технологические данные

Температура литья 1050—1070°С. Бронзы отлично обрабатываются резанием.

Применение

Для заливки по стали вкладышей подшипников.

БАББИТЫ ОЛОВЯНИСТЫЕ — Б87; Б92

Химический состав в %

Марка сплава	Cu	Sb	Sn	Fe	Pb	Ni	As	Bi	Сумма примесей
				не более					
Б87	2,0—4,0	9,0—11,0	Основа	0,1	0,35	0,5	0,1	0,05	0,55 *
Б92	3,5—5,0	3,5—5,0	Основа	0,1	0,35	0,5	0,1	0,05	0,55 *

* Без никеля.

Механические свойства при комнатной температуре

Марка сплава	Вид полуфабриката	Состояние	E	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	$S_к$	δ_{10}	ψ
			кгс/мм²				%	
Б87	Отливки (в кокиль)	Литые	—	—	10	—	6	—
Б92			5000	3,5	6	7	12	25

Продолжение

Марка сплава	Вид полуфабриката	Состояние	$\sigma_{0,2\ сж}$	$\sigma_{в\ сж}$	Δ %	$\tau_в$	HB	$a_н$ кгс · м/см²	σ_{-1} * кгс/мм²
			кгс/мм²			кгс/мм²			
Б87	Отливки (в кокиль)	Литые	—	25	—	—	30	—	—
Б92			3	17	40	3,5	20	1 **	2

* На базе $2 \cdot 10^7$ циклов.

** Образцы без надреза.

Физические свойства

Плотность 7300 *кг/м³* (Б87); 7340 *кг/м³* (Б92).

Коэффициент термического линейного расширения баббита Б92

Температура °C	20—150
$\alpha \cdot 10^6$ 1/*град*	23,2

Коэффициент теплопроводности баббита Б92

$\lambda = 38{,}5$ *вт/м · град.*

Антифрикционные свойства

Баббиты Б87 и Б92, применяемые в биметаллических конструкциях, обладают отличными антифрикционными свойствами, выдерживают большие нагрузки, легко прирабатываются и не склонны к заеданию.

Коэффициент трения со смазкой 0,008.

Технологические данные

Температура литья 400—450°C. Баббиты отлично обрабатываются резанием.

Применение

Для заливки по стали вкладышей подшипников

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ТРЕНИЯ

В последние годы возникла необходимость в разработке материалов, обеспечивающих надежную работу узлов трения при высоких температурах и в специальных средах, работу ряда прецизионных пар топливной аппаратуры и других деталей.

Для шарикорезьбовых пар и других деталей, нагревающихся до 600°С, разработаны высокопрочные и износостойкие при высоких температурах сплавы на никелевой основе — В56, ВЖЛ1, ВЖЛ2 и при более высоких температурах — сплав ВЖЛ15.

В структуре сплавов В56, ВЖЛ1 и др. присутствуют упрочняющие интерметаллидные соединения, повышающие износостойкость материала при высоких температурах. Наибольшей жаропрочностью обладают сплавы ВЖЛ2 и ВЖЛ15, рекомендуемые для применения в шарикорезьбовых парах и других деталях. Введение кремния в сплавы В56 и ВЖЛ1, близкие по составу к жаропрочным, является их основным отличием и обеспечивает им свойства, необходимые для работы на трение.

Для сепараторов подшипников и других деталей, работающих в условиях высоких температур (до 500°С), разработана износостойкая бронза ВБр3, представляющая собой сложнолегированный жаропрочный медный сплав типа куниаля А с повышенным содержанием никеля (16—18%) и алюминия (3—3,5%) и с присутствием хрома (0,8—1,3%), железа (1,2—1,6%), кремния (0,6—1,0%) и др.

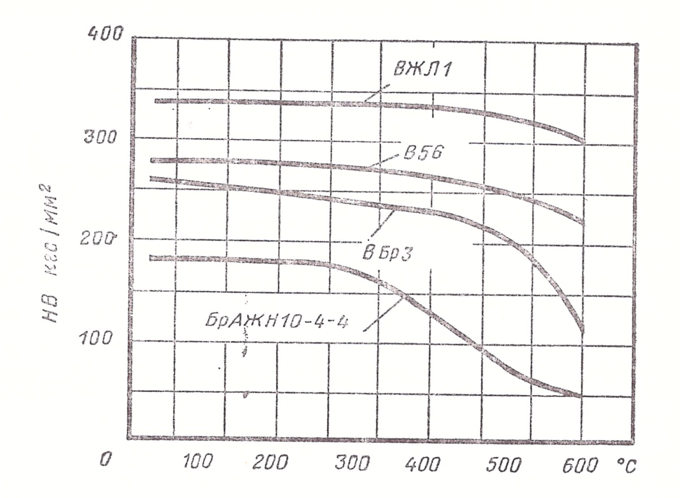
Бронза ВБр3 отличается более высокими, чем сплавы на никелевой основе, антифрикционными свойствами. При комнатной температуре она имеет высокие значения прочности и твердости ($\sigma_в$=65 *кгс/мм*², *HB* 260 *кгс/мм*²); при 500°С $\sigma_в$=33 *кгс/мм*² и *HB* 220 *кгс/мм*² (см. рисунок). Бронза ВБр3 обладает невысокой пластичностью и применяется в литом состоянии.

Рекомендуемая для работы в узлах трения при высоких температурах до 300°С бронза ВБр5 легко обрабатывается давлением, после чего приобретает наряду с высокой прочностью и высокую пластичность. Присутствие в ее структуре фосфидов обеспечивает высокую износостойкость и сопротивление схватыванию.

Для работы при небольших нагрузках и температурах деталей золотниковых пар прецизионной топливной аппаратуры, от которых требуется стабильность работы, исключающая возможность схватывания, и практическое отсутствие износа, разработан медноникелевый сплав, легированный кремнием, так называемый кремнистый монель.

Кремнистый монель является дисперсионно-твердеющим сплавом. Его твердость при комнатной температуре в термически обработанном состоянии достигает 400 *кгс/мм*². Сопротивление малым пластическим деформациям и износу весьма велико, благодаря чему при длительной работе прецизионной пары размеры деталей практически не изменяются и зазоры остаются постоян-

ными. Сплав применяется в литом и термически обработанном состояниях.



Твердость сплавов ВЖЛ1 и В56 в сравнении с твердостью бронз ВБр3 и БрАЖН10-4-4 при высоких температурах.

С целью облегчения работы при повышенных температурах шарикорезьбовых пар, шарикоподшипников и других узлов трения рекомендуется специальная консистентная смазка ПФМС-4с на основе температуростойкой кремнеорганической жидкости. Эта смазка содержит в качестве смазывающего вещества 35% графита и применяется при температурах до 400°С.

Для уменьшения трения и устранения схватывания при повышенных давлениях и полусухом трении, а также в случаях вибраций в сочленениях рекомендуются антифрикционные покрытия ВАП-1, ВАП-1г, ВАП-2 и ВАП-3 в виде твердых пленок толщиной 10—20 *мкм*. Эти покрытия прочно удерживаются на поверхности металла, содержат 50—67% (вес) твердого смазывающего вещества — сернистого молибдена или графита и обеспечивают нормальную работу деталей в условиях полусухого трения. Покрытия ВАП стойки в керосиновом топливе и других нефтепродуктах: ВАП-1 — при температурах до 250, ВАП-2 и ВАП-3 — до 300°С.

Фрикционные металлокерамические материалы, получаемые путем спекания при высоких температурах смеси порошков разнообразных металлов с неметаллическими составляющими (графит, окись кремния, асбест, карбиды и окислы металлов, их сернистые соединения и др.), обладают комплексом свойств, обеспечивающих способность материала противостоять схватыванию при высоком коэффициенте трения и хорошую сопротивляемость истиранию.

Во фрикционных элементах самолетных тормозов применяются металлокерамические композиции марок ФМК-11, ФМК-79 и МКВ-50 на основе железа.

Для изготовления фрикционных элементов электромагнитных муфт авиационных конструкций и других механизмов разработана металлокерамическая композиция на медной основе марки ФМКМ-1. Указанный материал обладает высокой стабильностью фрикционных свойств и эксплуатационной стойкостью. Фрикционный материал ФМКМ-1 предназначается для электромагнитных муфт агрегатов, длительно работающих при температурах до 100°С. Так, муфты с металлокерамикой ФМКМ-1 выдерживают до 500 тыс. переключений.

Антифрикционные металлокерамики АМК-4 и АМК-5, работоспособные при температурах до 400 и 500°С соответственно, обеспечивают работу узлов без смазки (механизм поворота в лопатках компрессора и др.).

Металлокерамические материалы УМ64-7 и УК-1Н разработаны для использования в радиальном уплотнении турбины и компрессора. Материал УМ64-7 в виде вставок применяется для уплотнения турбины при 900—1000°С, а материал УК-1Н в виде покрытия, наносимого газопламенным методом,— для радиального уплотнения компрессора и лабиринтов турбины при температурах до 650°С.

БРОНЗА ХРОМОНИКЕЛЬАЛЮМИНИЕВАЯ	ВБр3

Химический состав в %

Ni	Si	Al	Fe	Mn	Cr	Ti	Cu
16,0—18,0	0,6—1,0	3,0—3,5	1,2—1,6	0,4—1,0	0,8—1,3	0,5—1,0	Остальное

Продолжение

P	Pb	S	Bi	Sb	As	Всего
не более						
0,002	0,002	0,01	0,002	0,005	0,01	0,031

Механические свойства по ОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ОСТ	Состояние	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_5 %	НВ кгс/мм²
Отливки (в кокиль)	ОСТ1 90072—72	Литые	65	0,8	260
Центробежное литье			70	1,5	260

Механические свойства при различных температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	E	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_5	ψ	НВ кгс/мм²	$a_н$ кгс·м/см²	σ_{-1} *	σ_{100}
			кгс/мм²			%				кгс/мм²	
Отливки (в кокиль)	Литые	20	11800	60	65	1,5	2,0	260	0,6	—	—
		500	—	—	33	1,5	2,0	220	—	—	—
		650	—	30	32	2,5	2,5	110	—	13	10

* На базе $2 \cdot 10^7$ циклов.

Жаростойкость

При 100-часовых испытаниях в воздушной среде привес при 650°C составляет 0,04 *г/м² · час*.

Физические свойства

Плотность 8300 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600	20—700
$\alpha \cdot 10^6$ 1/*град*	15,2	15,8	16,3	16,8	17,3	17,9	18,6

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	100	200	300	400	500	600
λ *вт/м · град*	42	58	64	71	75	73

Удельная теплоемкость

Температура °C	100	200	300	400	500	600	700
c кдж/кг · град	0,37	0,39	0,41	0,41	0,41	0,46	0,48

Антифрикционные свойства

Коэффициент трения:

без смазки при 650°C (P=3,5 *кгс/см²* и v=6 *м/сек*) — 0,22;
износ — 0,02 *мм/час*.

Коррозионная стойкость

В атмосферных условиях и пресной воде бронза ВБр3 обладает такой же коррозионной стойкостью, как и бронза БрАЖН10-4-4.

Технологические данные

Бронза выплавляется в электрических печах и отливается центробежным и стационарным способами в кокиль. Температура литья 1150—1200°C.

Применение

Детали трения (сепараторы и др.), работающие при высоких температурах.

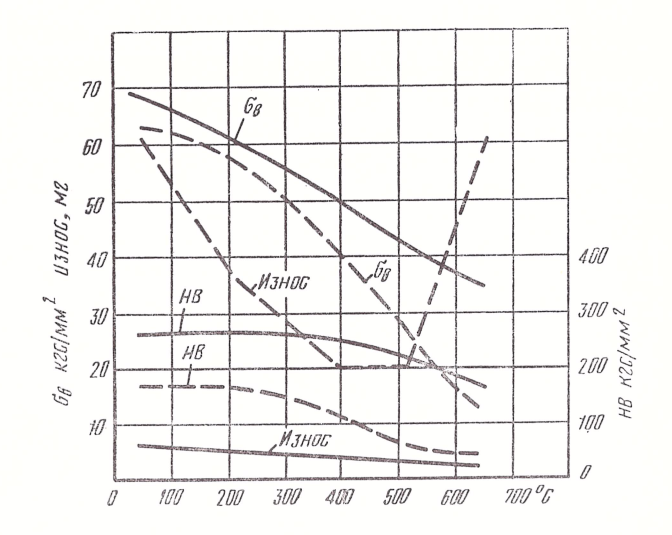


Рис. 1. Механические свойства бронз БрАЖН10-4-4 и ВБр3 при высоких температурах:
——— бронза ВБр3; — — — бронза БрАЖН10-4-4.

ВЫСОКОПРОЧНАЯ АНТИФРИКЦИОННАЯ БРОНЗА	ВБр5

Химический состав в %

P	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	As	Сумма примесей
5,5—7,0	Основа	0,3	0,5	0,03	0,5	0,01	1,0

Механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	E	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10}	ψ	$E_{сж}$	$\sigma_{0,2\ сж}$	HB
	кгс/мм²			%		*кгс/мм²*		
Прутки прессованные	9000	38—45	60—70	16—20	55—60	10500	40—50	160—190

Физические свойства

Плотность 7970 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—200	20—300
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	20,4	21,0	20,8

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	100	200	300
λ *вт/м · град*	36,84	40,61	43,96

Удельная теплоемкость

Температура °C	100	200	300
с кдж/кг · град	0,42	0,44	0,46

Коррозионная стойкость

В атмосферных условиях удовлетворительная.

Технологические данные

Бронза хорошо деформируется при 520—560°С. Для получения высокой прочности в сочетании с пластичностью рекомендуется двойное прессование.

Применение

Детали трения, работающие при температурах до 150—200°С.

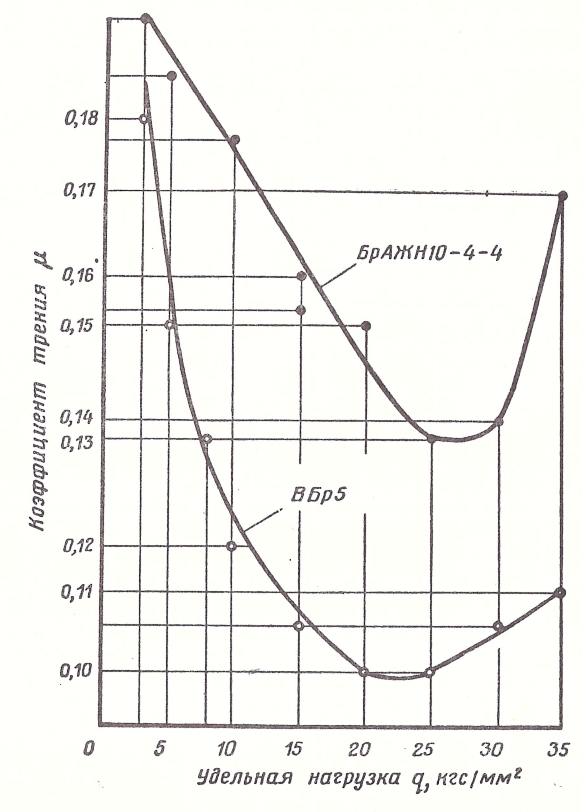


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения бронз ВБр5 и БрАЖН10-4-4 от нагрузки при испытании в паре со сталью 30ХГСА.

ХРОМОНИКЕЛЕВЫЙ СПЛАВ	В56

Химический состав в %

C	Si	Cr	Fe	W	B
Не более 0,05	1,8—2,2	13,5—14,5	6,5—7,5	1,5—2,0	0,08—0,10

Продолжение

Ti	Al	Ni	S	P	Mn
			не более		
1,2—1,5	1,5—2,0	Остальное	0,020	0,025	0,20

Механические свойства по ОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ОСТ	Состояние	Температура испытания °C	Метод выплавки	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_5 %	$a_н$ кгс·м/см²	HB кгс/мм²
Отливки (в кокиль)	ОСТ1 90035—71	Термически обработанные	20	Вакуумный	70	12	2	240
				Открытый	70	3	2	240

Механические свойства при различных температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	E	$\sigma_{пц}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10}	ψ	$a_н$ кгс·м/см²	HB кгс/мм²
			кгс/мм²				%			
Отливки (в кокиль)	Термически обработанные	—70	—	—	—	70	3	3	—	—
		20	16000	35	45	70	3	3	2	260
		300	—	—	—	70	3	3	—	—
		400	—	—	—	70	3	3	—	—
		450	—	—	—	70	3	3	—	—

Антифрикционные свойства

Износостойкость и коэффициент трения

Условия испытания	Температура испытания в °C							
	20		300		400		450	
	износ мм/час	коэффициент трения	износ мм/час	коэффициент трения	износ мм/час	коэффициент трения	износ мм/час	коэффициент трения
Трение скольжения без смазки (P=3,5 кгс/см², v=6 м/сек)	0,035	0,26	0,015	0,23	0,013	0,22	0,020	0,23

Коррозионная стойкость

Сплав обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью.

Физические свойства

Плотность 8200 кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	100—200	200—300	300—400	400—500
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	12,5	13,5	14,3	15,1	15,9

Коэффициент теплопроводности

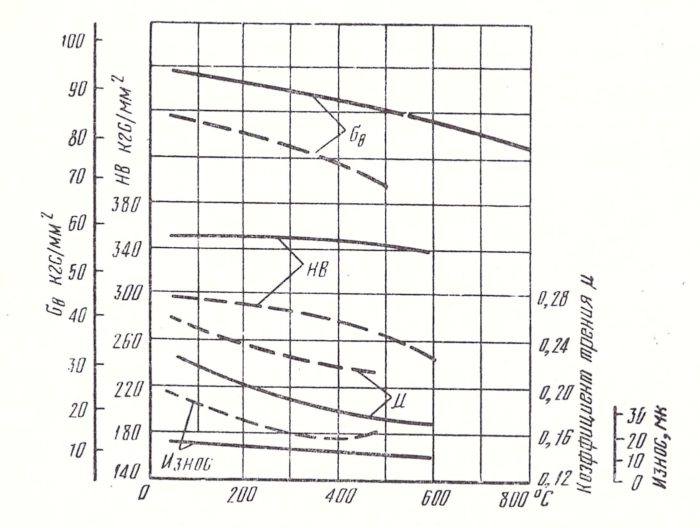
λ=12,0 вт/м·град (20°C).

Технологические данные

Сплав изготовляется в вакуумных и открытых электрических печах и отливается в кокиль в виде болванок. Температура литья 1560—1600°C. Режим термической обработки: закалка с 1080±10°C, охлаждение на воздухе; старение при 700±10°C. Для заготовок диаметром 50—100 мм выдержка при закалке рекомендуется в пределах 6—8 час, при старении — 14—16 час. Сплав удовлетворительно обрабатывается резанием.

Применение

Гайки шарикорезьбовых пар и другие детали, работающие на трение при температурах до 450°C.



Механические свойства сплавов ВЖЛ1 и В56 при высоких температурах:
—— сплав ВЖЛ1; – – – сплав В56.

ИЗНОСОСТОЙКИЙ ХРОМОНИКЕЛЕВЫЙ СПЛАВ	ВЖЛ1

Химический состав в %

C	Si	Cr	Fe	W	B
0,10—0,17	1,2—2,0	15,0—17,0	6,0—7,5	2,0—2,5	0,10

Продолжение

Ti	Al	Mo	Ni	S	P	Mn
				не более		
2,0—3,0	2,0—3,0	3,5—5,0	Основа	0,020	0,02	0,30

Механические свойства по ОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ОСТ	Состояние	Метод выплавки	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ %	HB кгс/мм²
Отливки (в кокиль)	ОСТ1 90035—71	Литые	Вакуумный	80	1,5	270
			Открытый	68	1,5	270

Механические свойства при различных температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	E	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10}	ψ
			кгс/мм²			%	
Отливки (в кокиль)	Литые	—70	—	—	95—110	1—2	1—2
		20	18500	70—80	80—95	1—2	1—2
		500	—	—	80—90	1—2	1—2
		600	—	—	75—85	2—3	2—3
		650	—	—	—	—	—

Продолжение

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{0,2\ сж}$ кгс/мм²	HB кгс/мм²	$a_н$ кгс · м/см²	σ_{-1} * кгс/мм²	σ_{100} кгс/мм²
Отливки (в кокиль)	Литые	—70	—	—	—	—	—
		20	75—80	300—360	0,5—1,5	—	—
		500	—	300—345	—	—	73—84
		600	—	300—320	—	—	—
		650	—	—	—	2,8	—

* На базе $N=2\cdot10^7$

Антифрикционные свойства

Износостойкость и коэффициент трения

Условия испытания	20: износ мм/час	20: коэффициент трения	500: износ мм/час	500: коэффициент трения	600: износ мм/час	600: коэффициент трения
Трение скольжения ($P=3,5$ кгс/см², $v=6$ м/сек) со смазкой ПФМС-4с	0,010	0,19	0,012	0,15	—	—
В тех же условиях без смазки	0,018	0,24	0,013	0,18	0,010	0,17

(Температура испытания в °C)

Физические свойства

Плотность 8370 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500
$\alpha\cdot10^6$ 1/*град*	12,4	12,9	13,3	13,7	14,1

Коэффициент теплопроводности

$\lambda=9$ *вт/м · град* (20°C).

Коррозионная стойкость

Сплав обладает хорошей коррозионной стойкостью.

Технологические данные

Сплав изготовляется в вакуумных и открытых электрических печах и отливается в кокиль в виде болванок; применяется без термической обработки. Температура литья 1580—1620°C. Выплавка и разливка в вакууме обеспечивают более высокую износостойкость сплава.

Применение

Шарикорезьбовые пары специальных агрегатов управления, работающие при температурах до 600°C.

ИЗНОСОСТОЙКИЙ СПЛАВ	ВЖЛ2

Химический состав в %

C	Si	Cr	Mo	Fe
0,11—0,17	1,0—2,0	12,0—15,0	12,0—15,0	2,0—3,5

Продолжение

W	Al	Ti	B	Ni	S	P
					не более	
8,0—10,0	1,5—3,0	2,0—3,2	0,065	Основа	0,02	0,02

Механические свойства по ОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ОСТ	Состояние	Метод выплавки	Температура испытания °C	$\sigma_в$ кгс/мм²	HB кгс/мм²
Отливки в кокиль и заготовки, полученные методом регламентированной кристаллизации	ОСТ1 90035—71	Отожженные	Вакуумный	20	75	430

Механические свойства при различных температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	E	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_5 %
			кгс/мм²			
Отливки (в кокиль)	Отожженные	20	20500	72	85	1
		650	17000	72	85	1
		800	14500	72	85	1

Продолжение

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	HB	σ_{100}	$a_н$ кгс · м/см²
			кгс/мм²		
Отливки (в кокиль)	Отожженные	20	450	—	0,5
		650	370	45,0	—
		800	320	36,0	—

Антифрикционные свойства

Износостойкость и коэффициент трения при испытании в среде инертных газов (аргон) при 800°C

Условия испытания	Износ мм/час	Коэффициент трения
Трение скольжения без смазки ($P=2{,}5$ кгс/см², $v=2{,}2$ м/сек) с диском из стали 1Х18Н9Т	Не обнаружен	0,35
с диском из сплава ВЖ100	0,001	0,28

Износостойкость и коэффициент трения при испытании в дистиллированной воде при 150°C

Условия испытания	Износ мм/час	Коэффициент трения
Трение скольжения ($P=4$ кгс/см² $v=15$ м/сек) с диском из углеграфита 2П-1000-3П	0,0015	0,16—0,14

Физические свойства

Плотность 8500 кг/мм³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600	20—700	20—800	20—900	20—1000
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	11,7	12,2	12,6	13,0	13,4	14,0	14,5	15,1	15,9	17,2

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	100	200	300	400	500	600	700	800
λ *вт/м · град*	10	12	13	15	16	18	20	21

Удельная теплоемкость

Температура °C	100	200	300	400	500	600	700	800
с *кдж/кг · град*	0,35	0,42	0,43	0,43	0,46	0,5	0,54	0,52

Коррозионная стойкость

Сплав обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, морской и дистиллированной воде, а также в некоторых жидкометаллических средах (Na, Na-K).

Технологические данные

Сплав изготовляется в вакуумных печах и отливается в кокиль в виде болванок или маслот. Втулки диаметром 80—100 *мм* могут быть получены методом регламентированной кристаллизации*. Температура литья 1480—1460°C. Сплав применяется в литом состоянии после отжига при 950°C в течение 3—5 *час.*

Применение

Детали узлов трения, длительно работающие при высоких температурах (до 800°C) в дистиллированной воде и жидкометаллических средах (Na, Na-K).

* ТР № 121-69.

ИЗНОСОСТОЙКИЙ ХРОМОНИКЕЛЕВЫЙ СПЛАВ | ВЖЛ15

Химический состав в %

C	Si	Cr	W	B	Zr
0,08—0,12	1,5—1,8	23—26	4,8—6,0	0,012—0,018	0,08—0,12

Продолжение

Ti	Al	Ni	S	P
			не более	
2,1—2,6	5,5—6,0	Основа	0,02	0,02

Механические свойства по ОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ОСТ	Состояние	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	δ_5 %	*HB* *кгс/мм²*
Отливки в кокиль	ОСТ1 90035—71	Литые	70	0,8	440

Механические свойства при различных температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	*E*	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_{10}	ψ	*HB* *кгс/мм²*	$a_н$ *кгс · м/см²*	σ_{100} *кгс/мм²*
			кгс/мм²			%				
Отливки в блок	Литые	20	18000	60	80	1,0	3	450	0,4	—
		800	—	55	67	3	4	230	—	—
		950	—	30	35	7	11	130	—	4,0

Физические свойства

Плотность 8000 *кг/м*³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—100	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600	600—700
$\alpha \cdot 10^6$ 1/*град*	11,3	11,7	12,2	12,8	13,4	14,1	14,3

Коэффициент теплопроводности

Температура °С	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900
λ *вт/м · град*	10,0	11,3	13,0	14,6	16,7	18,4	21,3	23,9	26,0	28,5

Удельная теплоемкость

Температура °С	100	200	300	400	500	600	700	800	900
c кдж/кг · град	0,419	0,44	0,46	0,502	0,523	0,586	0,628	0,690	0,754

Антифрикционные свойства

Износостойкость и коэффициент трения

Условия испытания	Температура испытания в °С					
	20		800		900	
	износ *мг/час · см*²	коэффициент трения	износ *мг/час · см*²	коэффициент трения	износ *мг/час · см*²	коэффициент трения
Трение скольжения без смазки: (*P*=2,5 *кгс/см*², *v*=2,25 *м/сек*)	4	0,35	6,0	0,29	6,0	0,29

Жаростойкость

При 100-часовых испытаниях в воздушной среде при 950°С привес составляет 0,06 *г/м*² · *час*.

Коррозионная стойкость

Сплав обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью.

Технологические данные

Сплав изготовляется в вакуумных индукционных печах и отливается в кокиль и блоки.

Применение

Детали трения, работающие при температурах до 900°С.

КРЕМНИСТЫЙ МОНЕЛЬ	НМКЖМц30-4-2-1 (ВКМ)

Химический состав в %

Cu	Si	Fe	Mn	Ni	C	Mg	Ti
					не более		
30,0—32,0	3,9—4,3	1,5—2,8	0,5—1,5	Основа	0,1	0,1	0,15

Продолжение

S	P	Pb	Bi	Sb	Прочие примеси (каждая)	Сумма примесей
не более						
0,015	0,01	0,05	0,01	0,01	0,01	0,6

Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_{10} %	HB кгс/мм²
Отливки	АМТУ 508—70	Литые	70	0,5	300
		Термически обработанные	70	0,5	350

Механические свойства отливок при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E*	G	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_5 %	$\sigma_{в\,сж}$	$\tau_{ср}$	HB кгс/мм²	$a_н$ кгс·м/см²
		кгс/мм²					кгс/мм²			
Отливки	Литые	—	—	60—80	70—90	1—2	—	—	300—350	0,5—1,2
	Термически обработанные	17000	6650	70—90	80—100	2—5	180—260	55—65	350—400	0,5—0,8

* E=17500 кгс/мм² (при —250°С).

Физические свойства

Плотность 8500 кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	14,2	14,7	15,3	15,8	16,2	16,7

Коэффициент теплопроводности

Температура °С	25	100	200	300	400	500	600
λ вт/м·град	18	19,2	20,9	22,2	23,8	25,5	28

Удельная теплоемкость

Температура °С	100	200	300	400	500	600	700	800
c кдж/кг·град	0,42	0,439	0,46	0,5	0,544	0,628	0,71	0,754

Удельное электросопротивление

$\rho \cdot 10^6$=65,0 ом·см.

Температура плавления 1260—1285°С

Антифрикционные свойства

Коэффициент трения в керосине 0,07 (испытание на машине И-47 в паре со сталью Х18). Сплав обладает высоким сопротивлением истиранию. Износостойкость при удельной нагрузке 5 кгс/см² и скорости 2,5 м/сек за 7 час 45 мин составляет 1—3 мг (в паре со сталью Х18).

Коррозионная стойкость

Сплав обладает высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Сплав изготовляется в открытых электрических печах и заливается в кокиль, песчаные или оболочковые формы. Используется в литом и термообработанном состояниях. Температура литья 1470—1520°С. Линейная усадка 2%, жидкотекучесть 18 см (при 1500°С для канала диаметром 5 мм). Рекомендуемая термическая обработка: закалка с 1000±50°С после выдержки 3—5 час, охлаждение на воздухе, отпуск при 600—650°С, выдержка 3—5 час.

Сплав хорошо паяется припоем ВПр4.

Применение

Втулки золотниковых пар топливной аппаратуры и ряд других деталей, работающих на истирание в различных средах: втулки, наконечники, штоки и др.

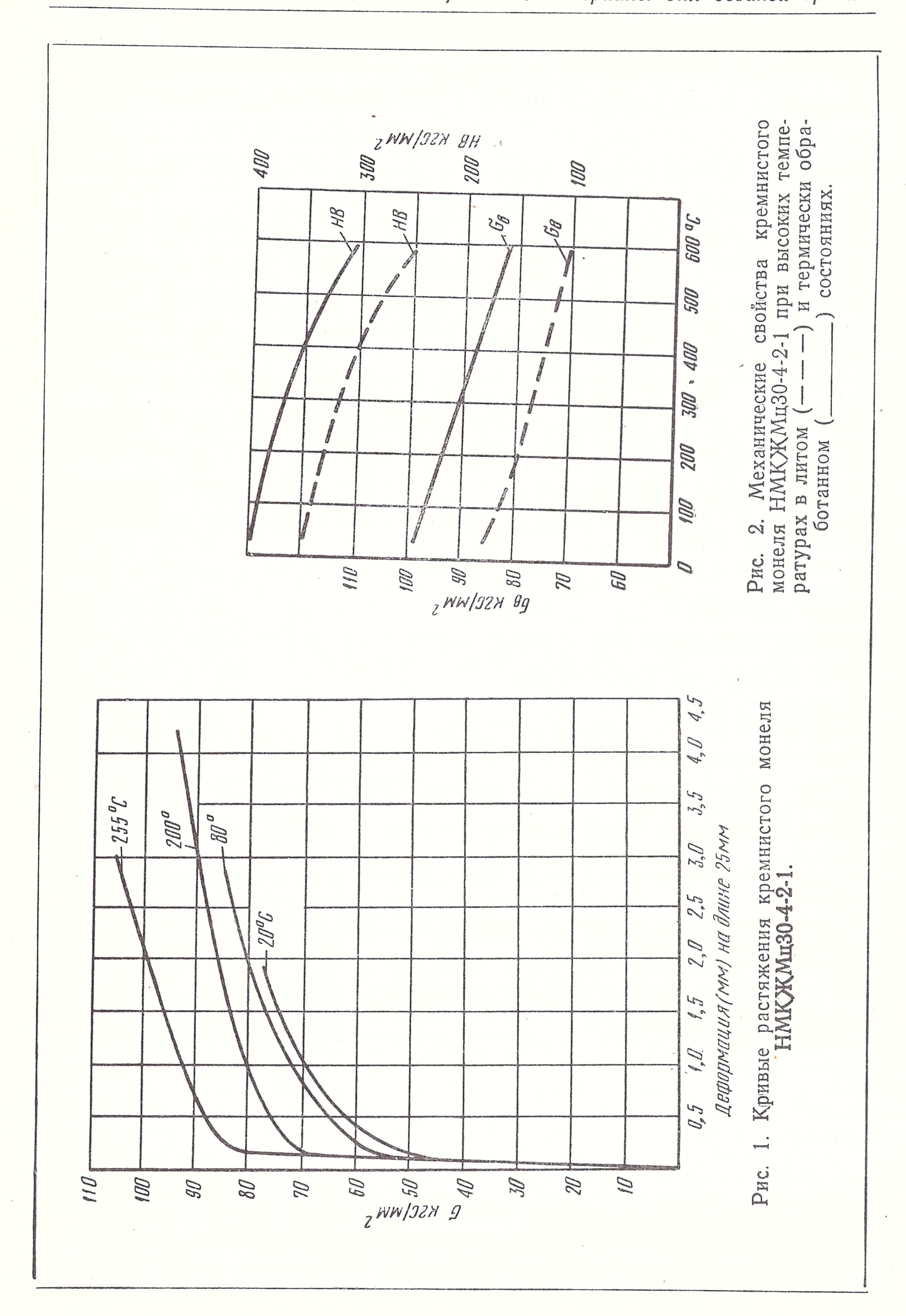


Рис. 1. Кривые растяжения кремнистого монеля НМЖМц30-4-2-1.

Рис. 2. Механические свойства кремнистого монеля НМЖМц30-4-2-1 при высоких температурах в литом (– – –) и термически обработанном (———) состояниях.

ФРИКЦИОННАЯ МЕТАЛЛОКЕРАМИКА НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА	ФМК-11

Химический состав в % (по шихте)

По паспорту					
Железо	Медь	Сернокислый барий	Асбест	Песок	Углерод
Основа	14—16	4,0—6,0	2,0—3,5	2,0—3,5	6,5—8,0

Механические свойства по ОСТ

Вид полуфабриката	ОСТ	Состояние	*HRF*
Металлокерамические секторы или диски, припеченные к стальному каркасу	ОСТ1 90115—74	Спеченные	70—95

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Состояние	$\sigma_в$	$\sigma_{в\ изг}$	$\sigma_{в\ сж}$	$\tau_{ср}$	*HRF*	$a_н$ *кгс · м/см²*
	кгс/мм²					
Спеченные	3,8—4,5	9—11	15—18	8—10	70—95	0,07—0,08

Физические свойства

Плотность 5200—5500 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—100	100—200
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	11,5	12,4

Коэффициент теплопроводности

Температура °С	100	300	600
λ *вт/м · град*	34,44	30,24	22,26

Фрикционные свойства

Коэффициент трения и износ при испытании на машине ИМ-58

Условия испытания	Коэффициент трения	Стабильность коэффициента трения	Износ в *мк/торможение*	
			металлокерамика	чугун ЧНМХ
$A_{уд}=545$ *кгс · м/см²* $N_{уд}=25$ *кгс · м/см² · сек* $v_{нач}=20$ *м/сек*	0,24—0,29	⩾0,7	⩽22	⩽4

Технологические данные

Температура спекания металлокерамики 1020±20°С. Давление при прессовании — 5,0—7,0 *т/см²*, давление при спекании 15—20 *кгс/см²*, выдержка при температуре спекания 2,5—3,0 *час*.

Материал хорошо обрабатывается резанием.

Применение

Тормозные устройства авиаколес различных конструкций.

ФРИКЦИОННАЯ МЕТАЛЛОКЕРАМИКА НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА	ФМК-79

Химический состав в %

По паспорту					
Железо	Медь	Нитрид бора	Сернокислый барий	Карбид кремния	Углерод общий
Основа	9—11	2—4	5—7	5—7	5—7

Механические свойства по ВТУ

Вид полуфабриката	ВТУ	Состояние	*HRF*
Металлокерамические секторы или диски, припеченные к стальному каркасу	ВТУ-02-14-74	Спеченные	80—105

Механические свойства при различных температурах

Состояние материала	Температура °С	$\sigma_в$	$\sigma_{в\ изг}$	$\sigma_{в\ сж}$	$\tau_{ср}$	*HRF*	$a_н$ *кгс · м/см²*
		кгс/мм²					
Спеченный	20	4—5	11—12	25—26	9—11	80—105	0,10—0,11
Спеченный	600	3—4	7—8	15—16	3—4	60—70	0,07—0,08

Физические свойства

Плотность 5500—5600 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—100	20—600	500—600
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	11,5	14,3	18,0

Коэффициент теплопроводности

Температура °С	25	800
λ *вт/м · град*	18,9	17,64

Удельная теплоемкость

Температура °С	100	600
с кдж/кг · град	0,546	0,798

Коррозионная стойкость

Такая же, как у углеродистой стали.

Фрикционные свойства

Коэффициент трения и износ при испытании на машине ИМ-58

Условия испытания	Коэффициент трения	Стабильность коэффициента трения	Износ в *мк/торможение*	
			металлокерамика	чугун ЧНМХ
$A_{уд}=540$ *кгс · м/см²* $N_{уд}=25$ *кгс · м/см² · сек* $v_{нач}=20$ *м/сек*	0,34—0,40	⩾0,7	⩽11	⩽7

Технологические данные

Температура спекания металлокерамики 1030_{-20}°С. Давление при прессовании 5,0—7,0 *т/см²*, при спекании 15—20 *кгс/см²*, выдержка при температурах спекания 2,5—3 *час.*

Материал удовлетворительно обрабатывается резанием.

Применение

Тормозные устройства авиаколес различных конструкций.

МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЙ ФРИКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ	МКВ-50А

Химический состав в %

По паспорту

Железо	Углерод общий	Кремний	Бор	Асбест	Медь	Сера
Основа	8,5—11	3,0—4,3	3,0—4,3	2,5—4,0	9,0—11,0	0,6—1,2

Механические свойства по ОСТ

Вид полуфабриката	ОСТ	Состояние	*HRF*
Металлокерамические секторы или диски, припеченные к стальному каркасу	ОСТ1 90115—74	Спеченные	80—100

Механические свойства при различных температурах

Температура испытания °С	$\sigma_в$	$\sigma_{в\ изг}$	$\sigma_{в\ сж}$	$\tau_{ср}$	$a_н$ *кгс · м/см²*	*HRF*
	кгс/мм²					
20	3—4	10—14	15—20	6—10	0,08—0,12	80—100
300	3—4,5	9—13	15—20	4,5—6,5	—	70—75
600	2—3	7,5—11	11—15	2—3	—	42—53

Физические свойства

Плотность 5100 *кг/м³* при пористости 5—10%.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600	20—700	20—800	20—900
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	10,97	10,74	10,90	11,16	11,31	11,76	12,07	12,52	12,6

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	100	200	300	400	500	600	700	800	900
λ *вт/м · град*	27,2	24,7	22,6	20,9	20,5	20,1	19,65	19,3	18,8

Удельная теплоемкость

Температура °C	100	200	300	400	500	600	700	800
c кдж/кг · град	0,51	0,54	0,62	0,67	0,71	0,75	0,79	0,835

Свойства при трении на машине ИМ-58

Условия испытания	Коэффициент трения	Стабильность коэффициента трения	Износ в *мк/торможение*	
			металлокерамика	чугун ЧНМХ
$A_{уд}=540$ *кгс · м/см²* $N_{уд}=25$ *кгс · м/см² · сек* $v_{нач}=20$ *м/сек*	0,33—0,404	⩾0,70	≦12	≦9

Технологические данные

Материал получают методом порошковой металлургии. Давление при прессовании 4—6 *т/см²*. Температура спекания 960—980°C — 3 *час*, при давлении на спекаемое изделие 20 *кгс/см²*. Спекание производится в среде водорода.

Применение

Тормозные устройства авиаколес различных конструкций.

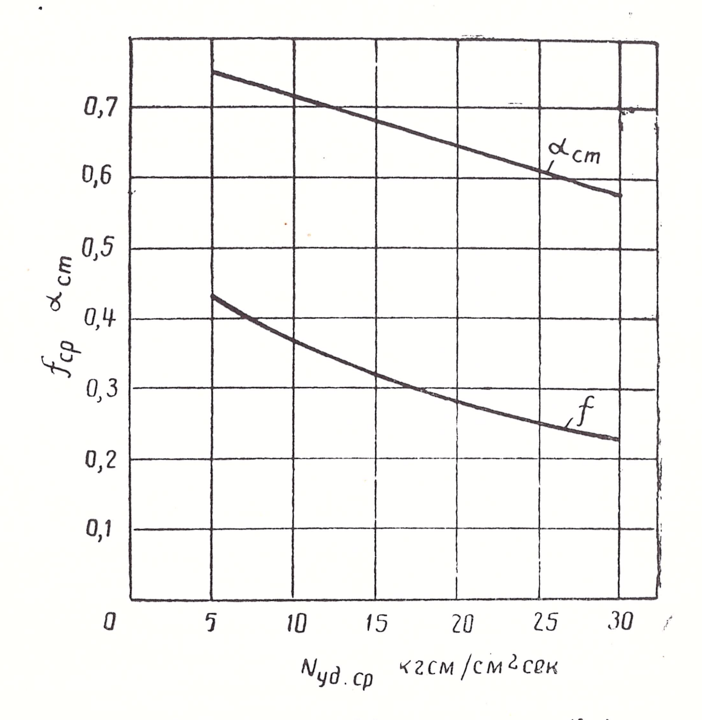


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения (f_{cp}) и его стабильности ($\alpha_{ст}$) от средней мощности торможения.

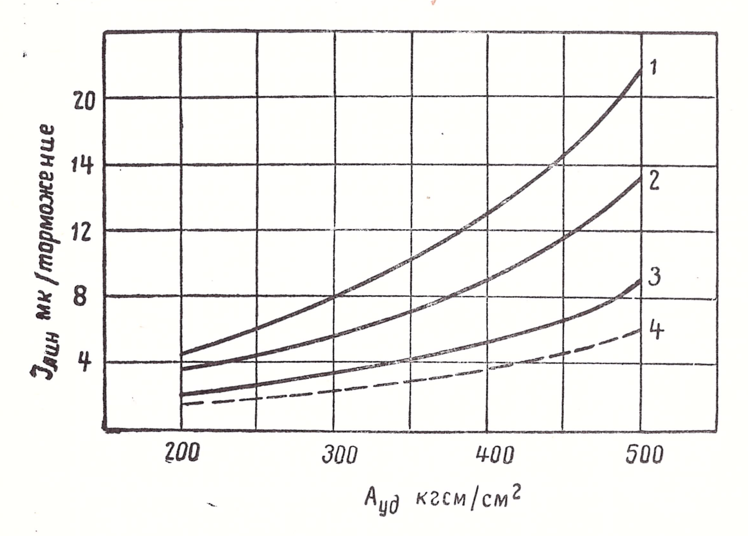


Рис. 2. Зависимость линейного износа металлокерамики и чугуна от удельной работы торможения:
——— МКВ-50А; — — — ЧНМХ.
1 — $N_{уд}$=30 *кгс · м/см² · сек;* *2* — $N_{уд}$=20 *кгс · м/см² · сек;*
3 — $N_{уд}$=10 *кгс · м/см² · сек;* *4* — $N_{уд}$=10—30 *кгс · м/см² · сек.*

ФРИКЦИОННАЯ МЕТАЛЛОКЕРАМИКА НА МЕДНОЙ ОСНОВЕ	ФМКМ-1

Химический состав в % (по шихте)

Марка материала	Медь	Олово	Графит	Окись кремния	Свинец	Трехокись молибдена
ФМКМ-1	Основа	7—9	2—4	2—4	5—7	2—4

Типичные механические свойства при комнатной температуре

Марка материала	Состояние	$\sigma_в$	$\sigma_{в\ изг}$	$\sigma_{в\ сж}$	$\tau_{ср}$	*HB*	$a_н$ *кгс · м/см²*
		кгс/мм²					
ФМКМ-1	Спеченная	5—6	7—8	14—15	7—8	60	0,1—0,15

Физические свойства

Плотность 7000—7500 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	16,8

Коэффициент теплопроводности

λ=9,24 *вт/м · град.*

Удельная теплоемкость

c=0,348 *кдж/кг · град.*

Фрикционные свойства

Коэффициент трения и износ при испытании на машине И-47

Марка материала	Условия испытания	Коэффициент трения	Износ в *мк/час*	
			металлокерамика	хромированная сталь
ФМКМ-1	*v*=0,1—6,3 *м/сек*	0,28—0,30	8	1

Металлокерамика в электромагнитных муфтах выдержала 500 тыс. включений, при $P=4$ *кгс/см²*, $v=0{,}35$ *м/сек*; коэффициент трения 0,26—0,27, износ менее 0,2 *мг/см² · час*.

Технологические данные

Температура спекания металлокерамики 800^{+10}°C, давление при прессовании $2 \div 3$ *т/см²*, при спекании $10 \div 12$ *кгс/см²*, продолжительность выдержки 3 *час*; обрабатываемость хорошая.

Применение

Фрикционные электромагнитные и предохранительные муфты авиационных агрегатов и других механизмов.

АНТИФРИКЦИОННАЯ МЕТАЛЛОКЕРАМИКА НА ОСНОВЕ МЕДИ	АМК-4

Химический состав в % (по шихте)

Cu	Ni	Sn	Pb	C (графит)	MoS_2
Основа	16—18	5—7	3—5	4—5,5	4—5,5

Механические свойства при повышенных температурах

Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_{в\ изг}$	$\sigma_{в\ сж}$	$\tau_{ср}$	*HB*	$a_н$ *кгс · м/см²*
		кгс/мм²				
Спеченное	20	13—14	25—28	12—14	55—75	0,20
	350	7—9	16—18	8—9	40—65	0,15

Фрикционные свойства при высоких температурах

Температура испытания °C	Условия испытания	Коэффициент трения	Износ в *мм* на 1 *км* пути	
300—350	**На машине И-47:** $v=0{,}5$ *м/сек*, $P_{уд}$ до 50 *кгс/см²*; контртело — ст. 9Х18 без смазки	0,20—0,24	0,15	—
	На машине Амслера: $v=0{,}4$ *м/сек*, $P_{уд}=25$ *кгс/см²*, P =100 *кгс/см²*.	0,07—0,08 0,02—0,05	0,03 0,05	0 0
	На образцах нанесено покрытие ВАП-2			

Физические свойства

Плотность 6500—6700 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—400
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	16,1	16,4

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	25—400
λ *вт/м · град*	50,2

Удельная теплоемкость

Температура °C	100	200
c кдж/кг · град	0,419	0,460

Коррозионная стойкость

Материал обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью во влажной камере при 18—25°C.

Технологические данные

При прессовании заготовок давление 3,0—3,5 *т/см²*. Спекание материала в среде водорода осуществляется двумя способами:

а) при температуре 400±10°C и давлении 5 *кгс/см²*, выдержка 1 *час*, затем при повышении температуры до 820±10°C и давлении 10 *кгс/см²*, выдержка 3 *час*;

б) без давления при 820^{+10}°C, выдержка 3 *час*, охлаждение до комнатной температуры, калибровка (подпрессовка) при $P_{уд}$=5 *т/см²* и последующий отжиг при 820_{-10}°C, выдержка 3 *час*. В случае необходимости разрешается после механической обработки наносить на рабочую поверхность изделий покрытие ВАП-2 согласно инструкции ВИАМ № 853-64.

Применение

Подшипники скольжения, подпятники и втулки, работающие без смазки при повышенных температурах (до 350°C).

АНТИФРИКЦИОННАЯ МЕТАЛЛОКЕРАМИКА НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ	АМК-5

Химический состав в % (по шихте)

Ni	Cu	Fe	Sn	Pb	C (графит)	MoS_2	Fe_3P
Основа	20—22	10,5—11,5	1,4—1,7	2,2—2,5	4,2—4,9	4—4,5	2,2—2,5

Механические свойства при различных температурах

Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_{изг}$	$\sigma_{сж}$	*HB*
		кгс/мм²		
Спеченное	20	18—23	30—34	60—80
	450	12—17	20—27	—
	600	5—7	13—18	—

Антифрикционные свойства

Температура испытания °C	Условия испытания	Коэффициент трения	Износ на 1 *км* пути в *мм*	
			металлокерамика	сталь
550	**На машине И-47:** v=0,1—0,2 *м/ сек*, $P_{уд}$=15 *кгс/см²*; контртело — ст. 9Х18, без смазки	0,2—0,24	0,07	0,01

Физические свойства

Плотность 6600—6700 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—400	20—600
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	13,6	14,8	15,6

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	25	400	600
λ *вт/м · град*	18,8	17,6	16,3

Удельная теплоемкость

Температура °C	100	400	600
c кдж/кг · град	0,419	0,523	0,586

Технологические данные

Предварительное спекание шихты при 800—820°C в течение 2 *час* в среде водорода. Спеченная шихта подвергается размолу. Прессование заготовок производится при $P_{уд}$=5—6 *т/см²*. Спекание в водороде при 900^{+10}°C, выдержка 3 *час*.

Калибрование (подпрессовка) спеченных заготовок при $P_{уд}$ =7 *т/см*. Отжиг в водороде откалиброванных заготовок при 900_{-10}°C, выдержка 3 *час*.

Применение

Подшипники скольжения, втулки и различные детали трения, работающие без смазки при повышенных температурах.

УПЛОТНИТЕЛЬНЫЙ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ — УМ64-7

Химический состав (по шихте) в %

Ni	BN	SiO_2
Основа	2—4	1—3

Типичные механические свойства при высоких температурах

Температура испытания °C	$\sigma_{в\ изг}$	$\sigma_{в\ сж}$	$\sigma_в$	$\tau_{ср}$	δ	$a_н$	*HB*
	кгс/мм²				%	*кгс · м/см²*	*кгс/мм²*
20	12—15	50—60	5,0—7,0	10—12	0,3—0,4	0,10—0,18	25—45
600	—	—	3,0—4,5	4,0—5,0	0,3—0,5	—	—
700	3,5—4,5	—	—	—	—	0,14—0,23	—
800	—	—	1,6—2,7	1,5—2,5	—	0,16—0,26	—
900	—	—	0,8—1,0	—	0,8—1,0	—	—
1000	3,0—2,5	—	—	—	2,0—3,0	—	—

Физические свойства *

Плотность 6200—7000 *кг/м³*.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600	20—700	20—800	20—900	20—1000
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	12,9	13,3	14,0	14,6	15,0	15,3	15,5	15,9	16,3	16,4

* Для материала с пористостью 13—17%.

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	25	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
λ *вт/м · град*	36,8	35,2	34,3	32,6	32,6	32,6	32,6	32,6	32,2	32,2	31,8

Жаростойкость

Материал	Температура нагрева °C	Среда	Продолжительность окисления *час*	Привес *г/м²*
Образцы диаметром 27 *мм*, толщиной 6,7 *мм*, $d = (6{,}8-6{,}9) \cdot 10^3$ *кг/м³*; пористость 11—13%	1000	Воздух	100	380
			450	640
			1050	910
			1250	950
			1450	950
			1650	1040
			1800	1050
			2000	1160
			2500	1120
			3000	1120

Коррозионная стойкость

Материал обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и при нагреве до 1000°C.

Технологические данные

Материал получают методом порошковой металлургии. Удельное давление прессования от 3 до 7 *т/см²*. Температура спекания 1150—1200°C в течение 3 *час*. Спекание проводится в средах водорода, аргона, диссоциированного аммиака и азота. Материал может быть получен путем прокатки спеченных заготовок.

Материал удовлетворительно обрабатывается резанием.

Применение

Детали в виде вставок и уплотнений других видов (колец, ленты, секторов), работающих длительно, а также кратковременно в условиях нагрева до 1000°C.

ЖАРОСТОЙКАЯ СМАЗКА	ПФМС-4С ТУ6-02-917-74

Состав и внешний вид	Поставка и хранение
Кремнеорганическая жидкость ПФМС-4, загущенная коллоидным графитом С-1 Вязкая мазеобразная однородная масса черного цвета	Поставляется в готовом виде

Физико-химические свойства

Свойства	Показатели
pH водной вытяжки	6—7
Содержание воды, в %	Не допускается
Эффективная вязкость при 20°C (*Д* — 100 *сек*), в пуазах	350
Расслаивание (синерезис) при 100°C в течение 6 *час* в %, не более	8
Температура затвердевания в °C, не выше	—30

Применение

Для смазывания подшипников качения, шарикорезьбовых пар и резьбовых соединений, кратковременно работающих при температурах до 400°C.

АНТИФРИКЦИОННОЕ ПОКРЫТИЕ	ВАП-1 (Инструкция № 853—64)

Компоненты пленкообразующего состава	Способ приготовления пленкообразующего состава	Способ нанесения и режим сушки
Молибденит высокой чистоты (MoS_2, природный двусернистый молибден) высокой дисперсии Эпоксидный лак Э4100 Отвердитель № 1 Смесь растворителей (ксилол + ацетон + этилцеллозольв)	Механическим смешением компонентов на месте потребления Перед нанесением на рабочую поверхность разбавляется смесью растворителей. (Жизнеспособность более 6 мес.)	Краскораспылителем, окунанием или кистью с последующей сушкой при 18—35°C в течение 1 *час* и постепенным подъемом температуры до 200°C, затем сушка при 210±10°C в течение 1 *час*

Покрытие содержит 67% MoS_2 и 33% связующего.

Физико-механические свойства покрытия толщиной 20—25 *мкм*

Свойства	Показатели	
	до выдержки в топливе ТР	после выдержки в топливе ТР при 240°C 25 *час*
Адгезия, определенная по методикам МИ-3 и МИ-4, в баллах	4—5	4—5
Прочность при изгибе по прибору ШГ в *мм*	1	3
Прочность при ударе по прибору У-1 в *кгсм*	50	50
Износ покрытия при испытании на машине трения И-47К-250 по методике ВИАМ	1,9	2,2
Изменение в весе в *мг*	—	Изменений нет

Антифрикционные свойства

(Испытание на заедание на машине И-47К-250 по методике ВИАМ)

Условия испытания	Трущаяся пара	Антифрикционные свойства	Износ пары бронза—сталь *мг* *
Топливо ТС-1, v=6,2 *м/сек*	Бронза ВБ-24 без покрытия и сталь	Без заедания выдерживает давление до 22—24 *кгс/см²* Коэффициент трения 0,06	1,5/0,8
	Бронза ВБ-24 с покрытием ВАП-1 и сталь	Без заедания выдерживает давление до 50 *кгс/см²* (предельная нагрузка машины) Коэффициент трения 0,06	3/0
Топливо ТР, P=20 *кгс/см²*, v=6,2 *м/сек*	Бронза ВБ-24 без покрытия и сталь	Не выдерживает без заедания воздействие температуры более 150°C Коэффициент трения 0,15—0,3	
	Бронза ВБ-24 с покрытием ВАП-1 и сталь	Выдерживает без заедания в течение 1 *час* воздействие температуры до 240°C (предельно достижимая на машине) Коэффициент трения 0,05	5/0

* В числителе приведен показатель для бронзы, в знаменателе — для стали.

Защиту металлических деталей, находящихся в контакте с покрытием, производить в соответствии с инструкцией ВИАМ № 853-64.

Применение

В качестве антифрикционного покрытия деталей трения топливной аппаратуры, топливопровода и других деталей, работающих в среде керосина и масла при комнатной и повышенных температурах (до 250°C).

П р и м е ч а н и е. В случае применения покрытия на взаимоперемещающихся деталях в воздушной среде при температурах до 300°C допускается замена двусернистого молибдена графитом (ВАП-1г). Покрытие ВАП-1г содержит 50% графита и 50% связующего.

АНТИФРИКЦИОННОЕ ПОКРЫТИЕ	ВАП-2 (Инструкция № 853—64)

Компоненты пленкообразующего состава	Способ приготовления пленкообразующего состава	Способ нанесения и режим сушки
Молибденит высокой чистоты (MoS_2, природный двусернистый молибден) высокой дисперсии Эпоксидный лак ЭП-074 Смесь растворителей (ксилол — ацетон — этилцеллозольв)	Механическим смешением компонентов на месте потребления Перед нанесением на рабочую поверхность разбавляется смесью растворителей. (Жизнеспособность более 6 мес.)	Краскораспылителем, окунанием или кистью с последующей сушкой при 18—35°С в течение 1 *час* и постепенным подъемом температуры до 200°С, затем сушка при 210±10°С в течение 1 *час*

Покрытие представляет собой твердую пленку, содержащую 67% двусернистого молибдена и 33% связующего.

Физико-механические свойства покрытия толщиной 15—25 *мкм*

Свойства	Показатели	
	в исходном состоянии	после выдержки в топливе Т-5 в течение 100 *час* при 300°С
Адгезия, определенная по методикам МИ-3 и МИ-4 (на бронзах, сталях и алюминиевых сплавах), в баллах	4—5	4—5
Прочность при изгибе по прибору ШГ в *мм*	1	3
Прочность при ударе по прибору У-1 в *кгсм*	50	50

Антифрикционные свойства

Свойства	Показатели
Выдерживает без заедания давление на машине И-47К при v=6,2 *м/сек*, в *кгс/см²*	50
Коэффициент трения (в среде керосина)	0,06
Коэффициент трения без смазки (на машине МИ-1)	0,1
Выдерживает без заедания в течение 1 *час* на машине И-47К-250 воздействие температуры, в °С	240

Защиту металлических деталей, находящихся в контакте с покрытием ВАП-2, производить в соответствии с инструкцией № 853—64.

Применение

В качестве антифрикционного покрытия деталей трения, работающих в среде керосина, масла и на воздухе при комнатной и повышенных температурах (до 300°С); для устранения схватывания и фретинг-коррозии сопряженных деталей (замки лопаток компрессора, детали крепления, шлицевые и резьбовые соединения, детали шасси и др.).

АНТИФРИКЦИОННОЕ ПОКРЫТИЕ	ВАП-3

Компоненты пленкообразующего состава	Способ приготовления пленкообразующего состава	Способ нанесения и режим сушки
Молибденит высокой чистоты (MoS_2, природный двусернистый молибден) высокой дисперсии Порошок свинца Эпоксидный лак ЭП-074 Смесь растворителей (ксилол — ацетон — этилцеллозольв)	Механическим смешением компонентов на месте потребления Перед нанесением на рабочую поверхность разбавляется смесью растворителей. (Жизнеспособность более 6 мес.)	Краскораспылителем, окунанием или кистью с последующей сушкой при 18—35°C в течение 1 *час* и постепенным подъемом температуры до 200°C, затем сушка при 210±10°C в течение 1 *час*

Покрытие представляет собой твердую пленку, содержащую 67% наполнителя (двусернистый молибден, порошок свинца дисперсностью до 4 *мкм* в количестве 10—15% от веса наполнителя) и 33% связующего, отличающегося повышенной работоспособностью (продолжительность работы в 2—3 раза больше, чем у других покрытий ВАП).

Физико-механические свойства покрытия толщиной 15—25 *мкм*

Свойства	Показатели			
	в исходном состоянии	после выдержки в топливе Т-5 при 200°C в течение 100 *час*	после выдержки в воздушной среде при 200°C в течение 300 *час*	после выдержки в воздушной среде при 300°C в течение 100 *час*
Адгезия, определенная по методикам МИ-3 и МИ-4 (на бронзах, сталях, алюминиевых сплавах), в баллах	4—5	4—5	4—5	4—5
Прочность при изгибе по прибору ШГ в *мм*	1	1	1—3	1—3
Продолжительность работы на машине трения МИ-1 при: $P=25$ *кгс/см²*, $v=0{,}4$ *м/сек* и сухом трении в *час*	50	—	47—50	35

Продолжение

Свойства	Показатели			
	в исходном состоянии	после выдержки в топливе Т-5 при 200°C в течение 100 *час*	после выдержки в воздушной среде при 200°C в течение 300 *час*	после выдержки в воздушной среде при 300°C в течение 100 *час*
$P=25$ *кгс/см²*, $v=0{,}4$ *м/сек* и трении в топливе в *час*	50	50	—	—
Коэффициент трения при работе без смазки на машине трения МИ-1	0,05—0,06	0,08—0,09	0,06—0,08	0,07—0,08
Предельно выдерживаемое давление на машине Х-2 в топливе Т-5 при $v=1{,}2$ *м/сек* в *кгс/см²*	540	540	470	440

Защиту металлических деталей, находящихся в контакте с покрытием ВАП-3, производить в соответствии с инструкцией ВИАМ № 853-64.

Применение

В качестве антифрикционного покрытия деталей трения, работающих в среде керосина, масла и на воздухе при комнатной и повышенных температурах (до 300°C); для устранения схватывания и фретинг-коррозии сопряженных высоконагруженных деталей (шарнирные, болтовые соединения и др.).

Глава 2

ПРИПОИ И ФЛЮСЫ ДЛЯ ПАЙКИ

Процесс пайки состоит в заполнении зазора между соединяемыми металлами жидким припоем под воздействием капиллярных сил и его кристаллизации при охлаждении. Металлы в месте соединения нагреваются до температуры, более низкой, чем температура расплавления, и сохраняются в твердом состоянии.

Различают высокотемпературную пайку, когда температура нагрева в месте контакта соединяемых металлов и припоя выше 723°К, и низкотемпературную, когда температура нагрева не превышает 723°К.

Низкотемпературная пайка применяется в тех случаях, когда от паяных соединений не требуется высокой прочности, а нужна герметичность соединения или хороший металлический контакт. Для устранения окисных плен между припоем и металлами или сплавами, а также для предупреждения их окисления при пайке применяют флюсы, специальные защитные или восстановительные газовые среды, вакуум и различные способы механического или кавитационного разрушения окисной пленки. Например, для удаления окисной пленки при пайке алюминиевых сплавов применяют флюсы, а также ультразвуковые паяльники, абразивные карандаши, щетки и другие механические способы.

В качестве припоев используются металлы или сплавы, более легкоплавкие, чем материал паяемых деталей, образующие достаточно прочные, плотные, пластичные и коррозионностойкие соединения. Припои применяются в виде проволоки, фольги, паяльных паст, порошка, стружки, гранулированных зерен.

В данном разделе приводятся припои, применяемые в авиационной и других отраслях промышленности. Для удобства припои сгруппированы по следующим признакам: низкотемпературные, содержащие олово,— для пайки меди, медных сплавов и сталей (табл. 1—3); низкотемпературные, содержащие серебро,— для пайки меди и ее сплавов (табл. 4—5); высокотемпературные, содержащие серебро,— для пайки различных сплавов (табл. 6—7); высокотемпературные на медной основе — для пайки меди и сталей

(табл. 8—9); в особую группу выделены припои для пайки алюминиевых сплавов (табл. 10, 11).

Широкое распространение в промышленности получили припои ВПр1, ВПр2, ВПр3, ВПр4, ВПр6, ВПр7, ВПр9, разработанные ВИАМ за последние десять лет. В таблицах приводятся физико-механические свойства, коррозионная стойкость этих припоев и области их применения.

В табл. 12 для сравнения представлены данные по прочности паяных соединений различных материалов, выполненных с помощью некоторых припоев с различным химическим составом. Перечень применяемых в промышленности припоев, имеющих документацию, дан в табл. 13.

В конце раздела перечислены флюсы, применяемые при пайке различных металлов.

Таблица 1

Низкотемпературные припои, содержащие олово, для пайки меди, медных сплавов и сталей (ГОСТ 1499—70)

Марка припоя	Химический состав, %													Температура плавления °С	
	основные компоненты				примеси, не более										
	Sn	Sb	Cd	Pb	Sb	Cu	Bi	As	Fe	Ni	S	Zn	Al	солидус	ликвидус
Олово 02 *	99,565	—	—	—	0,05	0,03	0,05	0,015	0,02	Pb=0,25	0,02	—	—	232	232
Олово 03 *	98,40	—	—	—	0,30	0,10	0,06	0,05	0,05	Pb=1,0	0,04	—	—	232	232
ПОС90	89—91	—	—	Остальное	0,05	0,05	0,1	0,02	0,02	0,02	0,02	0,002	0,002	183	220
ПОС61	60—62	—	—	То же	0,05	0,05	0,1	0,03	0,02	0,02	0,02	0,002	0,002	183	190
ПОСК50-18	49—51	—	17—19	»	0,20	0,08	0,1	0,03	0,02	0,02	0,02	0,002	0,002	142	145
ПОССу50-0,5	49—51	0,2—0,5	—	»	—	0,08	0,1	0,03	0,02	0,02	0,02	0,002	0,002	183	216
ПОС40	39—41	—	—	»	0,05	0,05	0,1	0,03	0,02	0,02	0,02	0,002	0,002	183	238
ПОССу30-2	29—31	1,5—2,0	—	»	—	0,10	0,2	0,05	0,02	0,08	0,02	0,002	0,002	185	250
ПОССу4-6	3—4	5,0—6,0	—	»	—	0,10	0,2	0,05	0,02	0,08	0,02	0,002	0,002	244	270
ПОССу61-0,5	60—62	0,2—0,5	—	»	—	0,08	0,1	0,03	0,02	0,02	0,02	0,002	0,002	183	189
ПОССу40-0,5	39—41	0,2—0,5	—	»	—	0,08	0,1	0,03	0,02	0,02	0,02	0,002	0,002	183	235
ПОССу40-2	39—41	1,5—2,0	—	»	—	0,10	0,2	0,05	0,02	0,08	0,02	0,002	0,002	183	229
ПОССу30-0,5	29—31	0,2—0,5	—	»	—	0,08	0,1	0,03	0,02	0,02	0,02	0,002	0,002	183	255
ПОССу5-1	4—5	0,5—1,0	—	»	—	0,10	0,2	0,05	0,02	0,08	0,02	0,002	0,002	275	308
ПОССу8-3	7—8	2,0—3,0	—	»	—	0,10	0,2	0,05	0,02	0,08	0,02	0,002	0,002	240	290

* ГОСТ 860—60. (Сумма определяемых примесей: олово 02 — 0,435%, олово 03 — 1,60%).

Таблица 2

Физико-механические свойства и назначение низкотемпературных припоев, содержащих олово

Марка припоя	$\sigma_в$, кгс/мм²	$\tau_{ср}$, кгс/мм²	δ_{10} %	$a_н$ кгс · м/см²	d кг/м³	Назначение
Олово 02	1,9	2,2	43	—	7300	Пайка и лужение меди, латуни и стали
ПОС90	4,9	2,7	40	4,2	7600	Пайка изделий медицинского назначения
ПОС61	4,3	4,2	46	3,9	8540	Пайка деталей радио- и электроаппаратуры, а также точных приборов, не допускающих перегрева
ПОССу61-0,5	4,5	—	35	3,7	8500	
ПОСК50-18	4,0	—	40	4,9	8800	Пайка деталей электро- и радиоаппаратуры и ответственных монтажных соединений, не допускающих высокотемпературного нагрева
ПОССу50-0,5	3,8	4	62	4,4	8830	Пайка авиационных радиаторов и изделий из меди, латуни и белой жести
ПОС40	3,8	3,7	52	4,0	9310	Пайка радиаторов, электроаппаратуры и для электромонтажных работ
ПОССу40-0,5	4,0	—	50	4,0	9300	
ПОССу40-2	4,3	—	48	2,8	9200	
ПОССу30-2	4,0	3,4	40	2,5	9690	Лужение деталей радиаторов и подшипников, заливаемых свинцовистыми баббитами.
ПОССу30-0,5	3,6	—	45	3,9	9700	Пайка деталей из железа, меди и латуни, а также оцинкованной стали
ПОССу4-6 *	6,5	3,6	15	0,8	10700	Лужение железа и пайка деталей, работающих при повышенных температурах *
ПОССу5-1 *	3,3	—	40	2,8	11200	
ПОССу8-3 *	4,0	—	43	1,7	10500	

* Не пригоден для пайки оцинкованного железа и цинка.

Таблица 3

Прочность некоторых соединений, паянных припоями, содержащими олово

Марка припоя	Пайка внахлестку					Пайка встык		
	латунь	медь	железо	оцинкованное железо	луженая жесть	латунь	медь	железо
	$\tau_{ср}$ *кгс/мм²*					$\sigma_в$ *кгс/мм²*		
Олово 02	4,5	4,6	3,8	5,1	—	5,9	9,0	7,9
ПОС61	3,5	3,5	3,6	3	—	8	9,7	9,8
ПОССу50-0,5	5,3	—	—	—	—	9,4	—	6,7
ПОС40	4,6	3,7	6,3	4,7	4,9	8	7,8	10,0
ПОССу30-0,5	2,8	2,7	5	1,2	3,6	8,8	9,1	11,5
ПОССу4-6	2,6	1,6	2,6	0,4	—	7,7	—	—

Таблица 4

Низкотемпературные припои, содержащие серебро, для пайки меди и медных сплавов

Марка припоя	ГОСТ или ТР	Химический состав в %							
		Pb	Sn	Zn	Ag	Ni	Cd	Bi	Примеси, не более
ВПр14	ТР6-898	25,0±0,5	25,0±0,5	—	1,3±0,3	—	—	Остальное	0,5
ПСр3Кд	ГОСТ 8190—56	—	—	1,0±0,5	3,0±0,5	—	96,0±1,0	—	0,5
ПСр3	ГОСТ 8190—56	97,0±1,0	—	—	3,0±0,3	—	—	—	0,5
ПСр2,5	ГОСТ 8190—56	92,0±1,0	5,5±0,5	—	2,5±0,3	—	—	—	0,5
ПСр1,5	ГОСТ 8190—56	83,5±1,5	15,0±1,0	—	1,5±0,3	—	—	—	0,5
ПСр8КЦН	ТР6-632	—	—	6,0±1	8,0±1	2,0±0,5	Остальное	—	0,1
ПСр5КЦН	ТР6-632	—	—	2,0±0,5	5,0±1	2,0±0,5	То же	—	0,1

Таблица 5

Физико-механические свойства припоев, содержащих серебро

Марка припоя	Температура °С: начала плавления	Температура °С: полного расплавления	$\sigma_в$ при температурах (в °С), кгс/мм²: 20	200	250	δ_5 %	d кг/м³
ВПр14	85	90	5,2	—	—	34	9400
ПСр3Кд	310	340	13,5	3,5	0,8	3	8700
ПСр3	300	305	3,1	1,2	0,6	45	11300
ПСр2,5	295	305	—	—	—	—	11000
ПСр1,5	265	270	—	—	—	—	10400
ПСр8КЦН	330	370	15—18	4,0—6,0	—	0,4—3,0	8800
ПСр5КЦН	315	355	15—16	4,5—6,0	4,0	3,5—9,5	8800

Таблица 6

Высокотемпературные припои, содержащие серебро, для пайки меди, медных сплавов и сталей (ГОСТ 8190—56)

Марка припоя	Химический состав в %: Ag	Cu	Zn	Cd	Ni	P	Примеси, не более
ПСр15	15±0,5	80,2±1,0	—	—	—	$4,8^{+0,2}_{-0,3}$	0,5
ПСр25	25±0,3	40±1,0	$35^{+1,5}_{-2,0}$	—	—	—	0,5 (в том числе 0,15 Pb)
ПСр25Ф	25±0,5	70±1,0	—	—	—	5,0±0,5	0,5
ПСр40	40±1,0	$16,7^{+0,7}_{-0,3}$	$17^{+0,8}_{-0,4}$	$26,0^{+0,5}_{-0,1}$	0,3±0,2	—	0,5 (в том числе 0,2 Pb)
ПСр45	45±0,5	30±0,5	$25^{+1,0}_{-1,5}$	—	—	—	0,5 (в том числе 0,15 Pb)
ПСр65	65±0,5	20±0,5	$15^{+1,0}_{-1,5}$	—	—	—	0,5 (в том числе 0,15 Pb)
ПСр70	70,0±0,5	26,0±0,5	4,0±1,0	—	—	—	0,5 (в том числе 0,15 Pb)
ПСр72	72,0±0,5	$28^{+0,5}_{-0,7}$	—	—	—	—	0,25 (в том числе 0,005 Pb)
ПСр71	71±0,5	$28,0^{+0,7}_{-1,0}$	—	—	—	1,0±02	0,3
ПСрЛНМ72 *	72±0,5	Остальное	—	—	1±0,3	0,2±0,05 Li	0,25 (в том числе 0,005 Pb)
ПСр92 **	92±1	7,7±1	—	—	—	0,3±0,1 Li	0,25 (в том числе 0,005 Pb)

* ЦМТУ 07-41-68.
** ЦМТУ 07-9-67.

Таблица 7

Физико-механические свойства и назначение высокотемпературных припоев

Марка припоя	Температура, °C		$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_5 %	d кг/м³	Назначение
	начала плавления	полного расплавления				
ПСр25	745	775	—	—	8700	Пайка деталей арматуры, авиационных радиаторов, патрубков, коллекторов и трубопроводов из меди и стали
ПСр25Ф	650	710	—	—	8500	
ПСр40	595	605	38—44	18—37	8400	Пайка латунных и бронзовых деталей авиационных приборов
ПСр45	660	725	37—61	16—35	9100	
ПСр65	700	730	—	—	9600	Получение швов повышенной прочности на стали
ПСр15	635	810	—	—	8300	Пайка медных проводов и деталей электродвигателей (место спая должно обладать высокой электропроводностью)
ПСр70	730	755	—	—	9800	Пайка деталей вакуумных приборов
ПСр72ЛМН	780	789	—	—	9900	
ПСр72	779	779	—	—	9900	
ПСр92	880	920	—	—	—	Пайка высокопрочных коррозионностойких сталей

Таблица 8

Высокотемпературные припои на медной основе для пайки меди, медных сплавов и сталей

Марка припоя	ГОСТ или ОСТ	Химический состав в % — основные компоненты				
		Cu	Zn	Si	P	Sn
Л63	ГОСТ 15527—70	62,0—65,0	Остальное	—	—	—
ЛК62-0,5	ГОСТ 16130—72	60,5—63,5	То же	0,3—0,7	—	—
ЛОК59-1-0,3	ГОСТ 16130—72	58,0—60,0	»	0,2—0,4	—	0,7—1,1
ПФОЦ7-3-2	ОСТ1 90056—72	Основа	1,0—3,0	—	5,0—7,0	2,5—3,5

Продолжение

Марка припоя	ГОСТ или ОСТ	Химический состав в % — примеси, не более						
		Pb	Fe	Sb	Bi	As	P	Всего
Л63	ГОСТ 15527—70	0,07	0,2	0,005	0,002	—	0,01	0,5
ЛК62-0,5	ГОСТ 16130—72	0,08	0,15	0,005	0,002	—	0,01	0,5
ЛОК59-1-0,3	ГОСТ 16130—72	0,1	0,15	0,01	0,003	0,01	0,01	0,3
ПФОЦ7-3-2	ОСТ1 90056—72	—	—	0,1	0,005	—	—	0,8

Таблица 9

Физико-механические свойства и назначение припоев на основе меди

Марка припоя	Температура, °C		$\sigma_в$ кгс/мм²	d кг/м³	Назначение
	начала плавления	полного расплавления			
Л63	900	905	35	8500	Пайка стальных труб и других изделий из стали
ЛК62-0,5	897	900	—	—	Пайка медных труб и других изделий из конструкционной стали
ЛОК59-1-0,3	880	900	45	8600	Пайка меди, стали, никеля, серого чугуна. Обеспечивается более высокая плотность шва, чем при применении припоя Л63, и поэтому рекомендуется для пайки изделий, работающих под давлением
ПФОЦ7-3-2	680	700	43—45	8000	Применяется в качестве заменителя серебряных припоев. Пайка медных и латунных деталей электромашин и аппаратуры, оборудования, приборов и других деталей, не подвергающихся при эксплуатации значительным нагрузкам. (Для пайки стали припой не пригоден)

Таблица 10

Припои для пайки алюминиевых сплавов

Марка припоя	ГОСТ, ТУ или ТР	Химический состав в %							
		основные элементы							
		Cu	Si	Zn	Mn	Al	Ag	Sn	Cd
СИЛ-1	ГОСТ 1521—68	—	10,0—13,0	—	—	Остальное	—	—	—
СИЛ-2	ГОСТ 1521—68	—	10,0—13,0	—	—	То же	—	—	—
34А	АМТУ 276-71	27,0—29,0	5,5—6,5	—	—	»	—	—	—
П590А *	ТР6-1004	10±1	1,0±0,1	—	—	»	—	—	—
П575А *	ТР6-1004	—	—	20±1	—	»	—	—	—
П550А	ТР6-1004	27±1	6±1	—	1,5±0,1	»	—	—	—
П300А	ТР6-1004	—	—	60±1	—	—	—	—	40±1
П250А	ТР6-1004	—	—	20±1	—	—	—	80±1	—
П200А	ТР6-1004	—	—	10±1	—	—	—	90±1	—
П170А	ТР6-1004	—	—	—	—	—	1±0,1	79±1	20±1
П150А	ТР6-1004	—	—	3,8±0,3	—	—	—	38,5±1	57,7±1

* Припои 575А и 590А могут применяться для пайки деталей, подвергающихся анодированию.

Продолжение

Марка припоя	ГОСТ, ТУ или ТР	Химический состав в % (примеси, не более) Fe	Mn	Ca	Ti	Cu	Zn	всего
СИЛ-1	ГОСТ 1521—68	0,50	0,5	0,10	0,15	0,3	0,08	
СИЛ-2	ГОСТ 1521—68	0,70	0,5	0,20	0,20	0,3	0,08	
34А	АМТУ 276-71	—	—	—	—	—	—	0,5
П590А *	ТР6-1004	—	—	—	—	—	—	0,5
П575А *	ТР6-1004	—	—	—	—	—	—	0,5
П550А *	ТР6-1004	—	—	—	—	—	—	0,5
П300А	ТР6-1004	—	—	—	—	—	—	0,5
П250А	ТР6-1004	—	—	—	—	—	—	0,5
П200А	ТР6-1004	—	—	—	—	—	—	0,5
П170А	ТР6-1004	—	—	—	—	—	—	0,5
П150А	ТР6-1004	—	—	—	—	—	—	0,5

* Припои 575А и 590А могут применятся для пайки деталей, подвергающихся анодированию.

Таблица 11

Физико-механические свойства припоев для пайки алюминиевых сплавов

Марка припоя	Температура, °С: начала плавления	Температура, °С: полного расплав-ления	$\sigma_в$ кгс/мм²	δ_5 %	d кг/м³
СИЛ-1, СИЛ-2 (силумин)	577	577	17—19	1—2	2700
34А	525	525	18—24	1	3300
П590А	560	590	7,5—11,5	0	2890
П575А	550	575	19—23	0	3080
П550А	550	550	12—17	0	3410
П480А	480	490	17—19	0	5690
П300А	260	310	3,5—13,0	0	7730
П250А	200	250	4,5—5,0	26—35	7300
П200А	199	210	4,0—4,5	48—52	7320
П170А	170	175	5,5—7,5	35—40	7620
П150А	150	170	6,5—7,5	40—44	8040

Таблица 12

Сравнительная таблица прочности соединений, выполненных различными припоями

Марка припоя	медь		латунь Л63		сталь 30ХГСА		сталь Х18Н10Т	
	$\tau_{ср}$	$\sigma_в$	$\tau_{ср}$	$\sigma_в$	$\tau_{ср}$	$\sigma_в$	$\tau_{ср}$	$\sigma_в$
	пайка внахлестку	пайка встык	пайка внахлестку	пайка встык	пайка внахлестку	пайка встык	пайка внахлестку	пайка встык
	кгс/мм²		кгс/мм²		кгс/мм²		кгс/мм²	
ПСр40	Разрушение по основному металлу	Разрушение по основному металлу	Разрушение по основному металлу	29,5—37,5	35,5—44,0	48,5—66,5	23,5—28,5	51—63,5
ПФОЦ7-3-2	19—22	15—19	32—34	17—21	—	—	—	—
ПСр45	19,6—20,0	Разрушение по основному металлу	Разрушение по основному металлу	26,6—32,7	—	49,6—58,5	—	42,2—57,2
ПСр8КЦН	4,4	—	4	—	—	—	—	—
ПСр5КЦН	5,4	—	5,5	—	—	—	—	—

Таблица 13

Перечень припоев, применяемых в промышленности

Марка припоя	Документ, регламентирующий изготовление припоя
Олово 02; 03	ГОСТ 860—60
ПОС90	ГОСТ 1499—70
ПОС61	ГОСТ 1499—70
ПОССу50-0,5	ГОСТ 1499—70
ВПр9	ЦМТУ 07-209-69
ПСр1,5	ГОСТ 8190—56
ПСр2,5	ГОСТ 8190—56
ПСр3	ГОСТ 8190—56
ПСр3Кд	ГОСТ 8190—56
ПСр5КЦН	ТР6-632
ПСр8КЦН	ТР6-632
ПСр15	ГОСТ 8190—56
ПСр25	ГОСТ 8190—56
ПСр40	ГОСТ 8190—56
ПСр45	ГОСТ 8190—56
ПСр50Кд	ГОСТ 8190—56
ПСр70	ГОСТ 8190—56
ПСр71	ГОСТ 8190—56
ПСр72	ГОСТ 8190—56
ПФОЦ7-3-2	ОСТ1 90056—72
П200А	ТР6-1004
ПОС40	ГОСТ 1499—70
П250А	ТР6-1004
ПОССу30-0,5	ГОСТ 1499—70
ПОССу4-6	ГОСТ 1499—70
ПОССу30-2	ГОСТ 1499—70
ПОСК50-18	ГОСТ 1499—70
ПОССу61-0,5	ГОСТ 1499—70
ПОССу40-0,5	ГОСТ 1499—70
ПОССу40-2	ГОСТ 1499—70
ПОССу5-1	ГОСТ 1499—70

Продолжение

Марка припоя	Документ, регламентирующий изготовление припоя
34А	АМТУ 276-71
П550А	ТР6-1004
Силумин	ГОСТ 1521—68
АЛ2	ГОСТ 2685—63
ПОССу8-3	ГОСТ 1499—70
ВПр15	ТР6-951
ВПр16	ТР6-973
ВПр1	АМТУ 538-68
П590А	ТР6-1004
П575А	ТР6-1004
ВПр4	АМТУ 539-68
ЛК62-0,5	ГОСТ 16130—72
ЛОК59-1-0,3	ГОСТ 16130—72
Л63	ГОСТ 15527—70
П150А	ТР6-1004
П170А	ТР6-1004
ПСр72ЛНМ	ЦМТУ 07-41-68
ВПр6	ЦМТУ 07-209-69
ВПр7	АМТУ 540-68
ВПр8	АМТУ 541-68
ПСр92	ЦМТУ 07-9-67
ВПр11	ТР6-1007
ВПр14	ТР6-898
ВПр13	ТУ 48-0714-10-73
ВПр2	ОСТ1 90082—73
ВПр12 (ПСр0,5-40)	ТУ 48-1-323-72
ВПр10	ТУ 1-92-16-73

ПРИПОЙ ДЛЯ ПАЙКИ МЕДНЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДОВ К СЕТОЧНЫМ ЛЕНТАМ ИЗ МОЛИБДЕНОВОЙ НИКЕЛИРОВАННОЙ ПРОВОЛОКИ	ВПр12 (ПСр0,5-40) ТУ 48-1-323-72

Химический состав в %

Sn	Ag	Cu	Sb	P	Pb	Примеси, не более
39—41	4,5—5,5	4,5—5,5	1,3—1,7	0,1—0,2	Остальное	0,5

Механические свойства паяных соединений при различных температурах

Паяемый материал (соединение внахлестку)	$\tau_{ср}$ * [в *кгс/мм*²] при температуре, °С			
	—70	20	100	150
Медь + молибден (с никелевым покрытием)	2,0—3,9	2,8—4,3	2,3—3,9	2,2—2,5

* Разрушение по месту пайки.

Физические свойства

Плотность 9380 *кг/м*³.

Температура плавления 220—300°С.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—100	100—150
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	23,0	16,5

Коэффициент теплопроводности

Температура °С	25	100	150
λ *вт/м·град*	54,4	46,0	30,8

Удельное электросопротивление

Температура °C	20
$\rho \cdot 10^6$ *ом · см*	17,7

Коррозионная стойкость

Паяные соединения меди с молибденом, покрытые никелем, в тропической камере, камере морского тумана и в промышленной атмосфере после трехмесячного испытания обладают удовлетворительной коррозионной стойкостью.

Технологические данные

Пайку припоем производят электропаяльником с применением в качестве флюса канифоли, раствора канифоли в спирте и других материалов. Температура пайки 320—360°C.

Технологическая пластичность припоя удовлетворительная.

Применение

Пайка медных электропроводов к сеточным лентам из молибденовой никелированной проволоки и к силикатно-серебряным шинкам.

Рабочая температура соединений от —60 до 150°C.

КОРРОЗИОННОСТОЙКИЙ ПРИПОЙ ДЛЯ ПАЙКИ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ — ВПр9 (ПСрМ05) (ЦМТУ 07-209-69)

Химический состав в %

Ag	Cu	Sb	Sn	Примеси, не более	
				всего	в том числе Pb
4,5—5,5	1,5—2,5	0,8—1,2	Остальное	0,5	0,2

Механические свойства паяных соединений при различных температурах

Паяемый материал (соединение внахлестку)	$\tau_{ср}$ [*кгс/мм*^{2}] при температуре, °C		
	—70	20	150
Медь, покрытая оловом или серебром	5—7	3,5—6	2,5—3

Физические свойства

Плотность 7510 *кг/м*^{3}.

Температура плавления 215—245°C.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—200	20—300
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	27,1	26,2

Температура, °C	100—200
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	25,3

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	25	100	200
λ *вт/м · град*	67,0	62,8	58,6

Удельное электросопротивление

Температура °C	20
$\rho \cdot 10^6$ *ом·см*	13,0

Коррозионная стойкость

Припой обеспечивает удовлетворительную коррозионную стойкость паяных соединений меди и латуни в различных климатических условиях без дополнительной защиты паяного соединения лакокрасочными покрытиями.

Технологические данные

Пайку производят электропаяльником с применением канифоли, спирто-канифольного флюса, а также других флюсов, применяемых при пайке оловянно-свинцовыми припоями.

Рабочая температура соединений от —70 до 150°C.

Применение

Припой предназначен для низкотемпературной пайки деталей из меди и ее сплавов преимущественно для монтажных соединений.

КОРРОЗИОННОСТОЙКИЙ ПРИПОЙ ДЛЯ ПАЙКИ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ — ВПр6 (ПСрОСу8) (ЦМТУ 07-209-69)

Химический состав в %

Ag	Sb	Sn	Примеси, не более	
			всего	в том числе Pb
7,5—8,5	7,0—8,0	Остальное	0,5	0,2

Механические свойства паяных соединений при различных температурах

Паяемый материал (соединение внахлестку)	$\tau_{ср}$ [в *кгс/мм*^{2}] при температуре, °C		
	—70	20	200
Медь, покрытая оловом или серебром	5,5—8,5	5,5—8,5	1,8—3,0

Физические свойства

Плотность 7580 *кг/м*^{3}.

Температура плавления 235—270°C.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—200
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	19,9	20,5

Температура °C	100—200
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	21,2

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	25	100	200
λ *вт/м·град*	48,1	50,2	52,3

Удельное электросопротивление

Температура °C	20
$\rho \cdot 10^6$ *ом · см*	17,9

Коррозионная стойкость

Припой обеспечивает удовлетворительную коррозионную стойкость паяных соединений меди и латуни при работе в различных климатических условиях без дополнительной защиты лакокрасочными покрытиями.

Технологические данные

Пайку производят электропаяльником с применением канифоли, спирто-канифольного флюса, а также других флюсов, применяемых при пайке оловянно-свинцовыми припоями.

Рабочая температура соединений от —70 до 200°C.

Применение

Припой предназначен для низкотемпературной пайки деталей из стали, меди и медных сплавов преимущественно для монтажных соединений.

ПРИПОЙ ДЛЯ ПАЙКИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ — ВПр15 (ТР6-951)

Химический состав в %

Mg	Cu	Al	Cd	Ag	Примеси, не более
0,3—0,8	2,0—3,5	0,3—0,6	13—16	Основа	0,5

Механические свойства паяных соединений при различных температурах

Паяемый материал (соединение внахлестку)	$\tau_{ср}$ при температуре в °C [*кгс/мм*²]					
	—196	—70	20	300	400	500
Сплав ВТ6С	24,0—26,5	20,5—22,5	17,5—22,0	13,5—14,5	11,0—12,5	8,5

Физические свойства

Плотность 9840 *кг/м*³.

Температура плавления 860—880°C.

Коррозионная стойкость

Соединения, паянные припоем ВПр15, обладают более высокой коррозионной стойкостью по сравнению с паянными припоем ПСр92; в 3%-ном растворе NaCl и солевом тумане коррозионная стойкость соединений низкая. Рекомендуется в этих случаях применять защиту лакокрасочными или никельфосфорным покрытиями.

Технологические данные

Пайку производят при нагреве в печах или токами высокой частоты, в вакууме ($10^{-3} \div 10^{-4}$ *тор*) или среде инертных газов (аргон, гелий).

Припой поддается обработке давлением и может быть получен в виде листа, фольги и проволоки.

Применение

Пайка деталей титановых сплавов ВТ5-1, ВТ6, ВТ6С, ВТ9, ВТ15, ВТ3-1 и ВТ23, работающих при температурах до 400°C.

ПРИПОИ ДЛЯ ПАЙКИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ	ВПр16 (ТР6-973)

Химический состав в %

Cu	Zr	Ni	Ti	Примеси, не более
22—24	12—13,5	8,5—9,5	Основа	0,5

Механические свойства паяных соединений при различных температурах

Паяемый материал (соединение внахлестку)	Способ нагрева	$\tau_{ср}$ при температуре в °С [*кгс/мм²*]		
		20	400	500
Сплав ОТ4	В печи при 930°С — 20 *мин*	36—42	>32,5 *	>32 *

* Разрушение по основному материалу при нахлестке, равной толщине образца (зазор 0,01—0,08 *мм*).

Физические свойства

Плотность 5770 *кг/м³*.
Температура плавления 910—920°С.

Коррозионная стойкость

Паяные соединения обладают высокой коррозионной стойкостью в различных климатических условиях.

Технологические данные

Пайку производят при нагреве в печах или токами высокой частоты, в вакууме ($10^{-3} \div 10^{-4}$ *тор*) или среде инертных газов (аргон, гелий).

Припой хрупок, не поддается ковке и прокатке, изготовляется в виде литых прутков или порошков. Пасту приготовляют путем смешивания порошка, просеянного через сито с ячейкой не большей, чем у сита № 08 (ГОСТ 3584—53), со связующим, состоящим из 1—2% акриловой смолы (ТУ 6-01-432-69) и растворителя Р-5 (ТУМ XII 2191-51).

Применение

Пайка деталей из титана и титановых сплавов, работающих при температурах до 400°С.

ТЕПЛОСТОЙКИЕ ПРИПОИ ДЛЯ ПАЙКИ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ	ВПр1 (АМТУ 538-68), ВПр2 (ОСТ1 90082—73), ВПр4 (АМТУ 539-68), ВПр13 (ТУ 48-0714-10-73)

Химический состав в %

Марка припоя	ОСТ, ТУ или ТР	Ni	Mn	Co	Fe	Si	Ag	Cu
ВПр1	АМТУ 538-68	27,0—30,0	—	—	≤1,5	1,5—2,0	—	Остальное
ВПр2	ОСТ1 90082—73	5,0—6,0	22,0—26,0	—	0,8—1,2	до 1,5	—	»
ВПр4	АМТУ 539-68	28,0—30,0	28,0—30,0	4,0—6,0	1,0—1,5	0,8—1,2	—	»
ВПр13	ТУ 48-0714-10-73	10,0—13,0	20,0—23,0	—	—	0,2—0,4	21,0—25,0	35,5—47,5

Продолжение

Марка припоя	ОСТ, ТУ или ТР	B	P	Li	Na	K	Zn	Примеси, не более
ВПр1	АМТУ 538-68	0,10 0,30	—	—	—	—	—	0,5
ВПр2	ОСТ1 90082—73	—	—	0,15—0,25	—	—	—	0,5
ВПр4	АМТУ 539-68	0,15—0,25	0,1—0,2	0,15—0,30	0,05—0,15	0,01—0,20	—	0,5 *
ВПр13	ТУ 48-0714-10-73	0,1—0,3	0,1—0,3	—	—	—	0,5—2,0	0,5 *

* В том числе 0,005% Sn.

Механические свойства паяных соединений при различных температурах

Паяемый материал	Припой	$\tau_{ср}$ при температуре в °С [*кгс/мм²*]						
		—60	—70	20	200	400	500	600
Х18Н9Т	ВПр1	—	43—58	37—50	30—40	19—22	—	9—16
Х15Н9Ю (СН-2)	ВПр2	25—30	—	21—30	20—30	19—24	12—20	12—14
Х17Н5М3 (СН-3)	ВПр2	19—30	—	21—25	19—23	21—25	9—13	—
Х18Н10Т	ВПр4	—	45—52	33—40	29—33	26—31	—	13—18
Х15Н7ЮМ2 (СН-4)	ВПр13	—	33—39	30—38	—	18—28	—	—

Физические свойства

Припой ВПр1

Плотность 8680 *кг/м³*

Температура плавления 1080—1120°С.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—100	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	17,1	18,4	19,6	20,2	23,8	26,0

Температура °С	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	17,1	17,7	18,4	18,8	19,8	20,9

Коэффициент теплопроводности

Температура °С	25	100	200	300	400	500	600
λ *вт/м · град*	10,9	12,6	14,6	17,2	19,3	21,4	23,4

Припой ВПр2

Плотность 8130 *кг/м³*.

Температура плавления 960—970°С.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	19,0	19,8	20,5	21,2	21,8	22,5

Температура °С	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	20,6	21,9	23,2	24,1	26,2

Коэффициент теплопроводности

Температура °С	25	100	200	300	400	500	600
λ *вт/м · град*	13,0	15,5	18,8	22,6	26,7	29,7	31,9

Удельное электросопротивление

Температура °С	20
$\rho \cdot 10^6$ *ом · см*	8

Припой ВПр4

Плотность 8030 *кг/м³*.

Температура плавления 940—980°С.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	16,8	17,4	17,9	17,6	18,3	19,1

Температура °С	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	16,1	18,8	16,8	21,1	22,8

Коэффициент теплопроводности

Температура °С	20	100	200	300	400	500
λ *вт/м · град*	10,9	12,1	14,2	16,7	18,4	21,1

Припой ВПр13

Плотность 8220 *кг/м³*.
Температура плавления 850—910°С.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—500
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	18,6

Коэффициент теплопроводности

Температура °С	20	100	200	300	400	500
λ *вт/м·град*	10,0	12,6	15,9	19,3	22,2	25,5

Коррозионная стойкость

Соединения на стали Х18Н9Т, паянные припоями ВПр1 и ВПр4 и на сталях Х17Н5М3 (СН-3) и Х15Н9Ю (СН-2), паянные припоем ВПр2, а также на стали Х15Н7ЮМ2 (СН-4), паянные припоем ВПр13 (пайка в аргоне), имеют удовлетворительную коррозионную стойкость в тропической камере и промышленной атмосфере.

В морских условиях требуется защита по согласованию с ВИАМ.

Технологические данные

Пайку припоями ВПр1, ВПр2, ВПр4 и ВПр13 можно производить при нагревах в печи с защитной атмосферой и в вакууме, токами высокой частоты и электроконтактным способом. Пайка припоев ВПр1 может выполняться также и при нагреве ацетиленокислородным пламенем с применением флюсов № 200 и № 201. При пайке припоями ВПр1, ВПр4, ВПр2 и ВПр13 с нагревом на воздухе токами высокой частоты необходимо применять флюсы № 200 и № 201.

Применение

Припои ВПр1, ВПр4, ВПр13 и ВПр2 — пайка трубопроводов и деталей из жаропрочных сплавов типа ЭИ437А, ЭИ696М и коррозионностойких типа Х18Н10Т.

Припой ВПр4 — пайка деталей компрессора и трубопроводов из коррозионностойких сталей типа Х18Н10Т, ЭИ962, 2Х13.

Припой ВПр13 — пайка деталей из коррозионностойких сталей типа ВНС-2, СН-3 и др.

Припой ВПр2 — пайка теплообменников из коррозионностойких сталей типа Х18Н10Т.

ПРИПОЙ ДЛЯ ПАЙКИ ЖАРОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ	ПЖ45-81 (Инструкция № 921-68)

Химический состав в %

Cr	Ni	Fe	Mn	Si	Cu
2,5—3,5	30—35	2,5—3,0	2,0—3,0	1,5—2,0	Остальное

Механические свойства паяных соединений при различных температурах

Паяемый материал (соединение внахлестку)	Температура испытания °С	$\tau_{ср}$ *кгс/мм²*	σ_{-1} * *кгс/мм²*
Сталь Х18Н10Т	20	43—51	24—25 **
	300	30—39	—
	400	23—32	—
	500	21—28	—
	600	18—20	17 ***
Сплав ЭИ435	20	60—62	—
	300	42—56	—
	400	49—58	—
	500	30—37	—
	600	30—31	—
	800	19—21	—

* На базе $1 \cdot 10^6$ циклов.
** Телескопическое соединение.
*** Плоские образцы.

Физические свойства

Плотность 8630 *кг/м³*.
Температура плавления 1120—1200°С.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	14,6	15,2	15,7	16,3	16,9	17,4

Температура °C	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	15,8	16,8	18,0	19,3	20,2

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	25	100	200	300	400	500	600
λ *вт/м · град*	23,9	26,4	29,3	32,7	35,2	35,2	38,1

Удельное электросопротивление $\rho \cdot 10^6 = 41$ *ом · см.*

Коррозионная стойкость

Паяные соединения, выполненные припоем ПЖ45-81, коррозионностойки в атмосферных условиях.

Технологические данные

Пайку припоем производят при нагреве токами высокой частоты, газовой горелкой или в печах.

Припой пластичен и может быть изготовлен в виде листов и ленты.

Температура пайки 1180—1230°.

Применение

Пайка деталей из коррозионностойких сталей и жаропрочных сплавов, работающих при температурах до 600°C.

ПРИПОЙ ДЛЯ ПАЙКИ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ	ВПр3 (Паспорт 520)

Химический состав в %

Si	Cr	Co	Cu	Ni	Примеси, не более
7,5—11	12—14	9,5—11,5	До 3	Основа	0,5

Механические свойства паяных соединений при различных температурах

Паяемый материал	Вид соединения	Температура испытания °C	$\sigma_в$ *кгс/мм²*	$\tau_{ср}$ *кгс/мм²*
ЭИ654	Стыковое	—60	37—43	—
		20	30—37	—
		200	30—35	—
		500	29—31	—
		800	16—18	—
ЭИ654	Телескопическое	—60	—	> (23—27) *
		20	—	> (21—22)
		200	—	> (21—22)
		500	—	> (19—20)
		800	—	>5
ЭИ759	То же	—60	—	> (32—34)
		20	—	> (29—32)
		200	—	> (20—23)
		500	—	> (20—21)
		800	—	—

* Разрушение по основному материалу.

Физические свойства

Плотность 7880—8100 *кг/м³*.
Температура плавления 1140—1150°С.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600	20—700	20—800	20—900
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	11,9	12,8	13,2	13,6	14,0	14,0	14,5	15,1	16,2

Температура °С	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600	600—700	700—800	800—900
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	13,7	14,0	14,8	15,6	14,0	17,5	18,3	25,0

Коэффициент теплопроводности

Температура °С	100	200	300	400	500	600	700	800	900
λ *вт/м · град*	9,6	11,3	13,0	14,2	15,9	17,6	19,6	21,4	23,0

Удельное электросопротивление

Температура °С	20
$\rho \cdot 10^6$ *ом · см*	128—131

Коррозионная стойкость

Паяные соединения коррозионностойки в агрессивных средах и морской воде.

Технологические данные

Пайку производят при нагреве в вакууме в среде аргона, в печи, токами высокой частоты и пламенем ацетиленокислородной горелки с использованием в последнем случае флюсов № 200 и № 201.

Температура пайки 1180—1200°С. Припой хрупкий, изготовляется в виде порошка, литых прутков или пасты.

Пасту готовят путем смешивания порошка, просеянного через сито № 045-0071 (ГОСТ 3584—53), со связующим, состоящим из 10% акриловой смолы (ТУ6-01-432-69) и 90% растворителя Р-5 (ТУМХП-2191-51).

Применение

Пайка деталей из коррозионностойких сталей и жаропрочных сплавов, работающих в агрессивных средах и морской воде.

ПРИПОЙ ДЛЯ ПАЙКИ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ И ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ	ВПр7 (АМТУ 540—68)

Химический состав в %

Mn	Co	Nb	Si	B	Li	K	Na	Ni	Примеси, не более
32,0—35,0	10,0—11,0	2,0—2,5	0,8—1,2	0,07—0,2	0,01—0,1	0,01—0,15	0,01—0,1	Основа	0,5

Механические свойства паяных соединений при различных температурах

Паяемый материал (соединение внахлестку)	Температура испытания °С	$\tau_{ср}$	$\tau_{ср/100}$	σ_{-1} *
		кгс/мм²		
Сталь Х18Н10Т	—196	54—61	—	—
	—70	45—54	—	—
	20	45—52	—	14
	200	43—45	—	—
	400	37—40	—	—
	600	21—33	—	—
	700	19—22	8	10

* На базе 10⁷ циклов.

Физические свойства

Плотность 7930 *кг/м³*.
Температура плавления 1100—1120°С.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600	20—700	20—800	20—900
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	16,5	17,0	17,7	18,4	19,3	19,5	19,5	20,0	20,6

Температура °C	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600	600—700	700—800	800—900
$\alpha \cdot 10^6$ 1/*град*	17,6	19,2	20,3	23,2	20,5	19,3	23,8	24,9

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	100	200	300	400	500	600	700	800	900
λ *вт/м · град*	10,9	12,6	14,2	15,5	16,7	18,4	20,5	22,2	24,3

Коррозионная стойкость

В атмосферных условиях припой обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью.

Технологические данные

Пайку производят в среде нейтральных газов (аргон, гелий или аргон с продуктами распада NH_4BF_4 или KBF_4), а также в вакууме с нагревом в печи или токами высокой частоты.

Температура пайки 1170—1180°C. Припой обладает удовлетворительной пластичностью и может изготовляться в виде фольги.

Применение

Пайка деталей из коррозионностойких сталей и жаропрочных сплавов.

ПРИПОЙ ДЛЯ ПАЙКИ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ	ВПр8 (АМТУ 541-68)

Химический состав в %

Mn	Co	W	Nb	Si	Ni	Примеси, не более
32—35	10,0—11,5	4,0—9,5	2,0—3,0	0,2—1,0	Остальное	0,5

Механические свойства паяных соединений при различных температурах

Паяемый материал	Соединение	Температура испытания °C	$\tau_{ср}$	$\tau_{ср/100}$
			кгс/мм²	
Сплав ЭИ437Б	Нахлесточное	—70	21—22	—
		20	18—21	—
		800	16—20	5,5
		1000	4—5	—
Сплав ЖС6-К	То же	—70	>13 *	—
		20	>20 *	—
		800	>11 *	5,0
		1000	> 4 *	0,6

* Разрушение по основному материалу.

Физические свойства

Плотность 7610 *кг/м³*.
Температура плавления 1130—1140°C.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600	20—700	20—800	20—900
$\alpha \cdot 10^6$ 1/*град*	15,0	15,6	16,4	17,1	17,7	18,1	18,4	18,7	19,0

Температура °С	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600	600—700	700—800	800—900
$\alpha \cdot 10^6$ *1/град*	16,1	18,1	19,2	20,4	19,7	20,0	20,8	21,9

Коэффициент теплопроводности

Температура °С	100	200	300	400	500	600	700	800	900
λ *вт/м·град*	10,0	11,3	12,1	13,4	15,1	17,2	18,8	20,9	22,6

Коррозионная стойкость

Паяные соединения, выполненные припоем на никелевых сплавах, коррозионностойки в атмосферных условиях.

Технологические данные

Пайку производят в среде нейтральных газов (аргон, гелий или аргон с продуктами распада NH_4BF_4 или KBF_4), а также в вакууме с нагревом в печи или токами высокой частоты.

Температура пайки припоем ВПр8 — 1180—1200°С.

Применение

Пайка деталей из жаропрочных сплавов, работающих при высоких температурах (до 1000°С).

ПРИПОЙ ДЛЯ ПАЙКИ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ	**ВПр11. ВПр11-40Н (ТР6-1007)**

Химический состав в %

Марка припоя	Cr	C	Si	B	Fe	Al	Ni	Примеси, не более
ВПр11	14—16	0,5—0,6	4—5	2—3	3—5	0,1—1,0	Остальное	≤0,5
Наполнитель	—	—	1,8—2,2	0,6—1,2	—	—	»	≤0,5

Механические свойства паяных соединений при различных температурах

Паяемый материал (соединение внахлестку)	Припой	Температура испытания °С	$\tau_{ср}$*	$\tau_{ср/100}$	σ_{-1}**
			кгс/мм²		
Сплав ЭИ867	ВПр11	20	>20 *	—	19
		800	18	—	—
		900	15,5	2,7	15
		1000	8,5	—	—
		1050	4,5	—	—
Сплав ВЖ98	ВПр11-40Н	20	>46 *		
	ВПр11 (60%) + +наполнитель (40%)	900	15,5—16,5	—	—
		1000	8,5—10,0	—	—

* Разрушение по основному материалу.

** На базе $1 \cdot 10^7$ циклов.

Физические свойства

Температура плавления припоя 980—1020°С, наполнителя — 1150—1400°С. Твердость припоя (слиток) *HRC* 58—60, наполнителя — *HRC* 90.

Коррозионная стойкость

Паяные соединения, выполненные припоями ВПр11 и ВПр11-40Н (с наполнителем) на никелевых сплавах, имеют удовлетворительную коррозионную стойкость в тропической камере и промышленной атмосфере.

Технологические данные

Пайку производят в среде нейтральных газов (аргон, гелий или аргон с продуктами распада NH_4BF_4 или KBF_4), а также в вакууме с нагревом в печи или токами высокой частоты.

Температура нагрева при пайке припоем ВПр11 1050—1100°С, продолжительность выдержки при этой температуре ⩾2 *час*; при пайке припоем ВПр11-40Н — 1080—1120°С, продолжительность выдержки 15 *мин*.

Применение

Припой ВПр11 — пайка деталей из никелевых сплавов типа ЖС6, ЭИ867 и ЭИ868.

Припой ВПр11-40Н — пайка деталей с неравномерными большими зазорами.

ПРИПОИ ДЛЯ ПАЙКИ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ

ВПр10 (ТУ 1-92-16-73)

Химический состав в %

Cr	Mn	Si	Nb	Fe	Ni	Примеси, не более
19,0—21,0	10,0—12,0	4,5—5,5	4,0—5,0	4—5	Остальное	0,5

Механические свойства паяных соединений при различных температурах

Паяемый материал (соединение внахлестку)	$\tau_{ср}$ при температуре в °С [*кгс/мм²*]				σ_{-1} * [*кгс/мм²*]	
	—70	20	300	500	20	500
Сталь 1Х18Н9Т	31	23,5	21	20	19	18,7
Сталь ЭИ654	28	26,0	21	20	20	20,0

* На базе $1 \cdot 10^7$ циклов.

Физические свойства

Плотность 7750 *кг/м³*.

Температура плавления 1150—1160°С.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600	20—700	20—800	20—900
$\alpha \cdot 10^6$ 1/*град*	12,3	12,6	13,3	13,4	13,8	14,2	14,6	14,9	15,3

Температура °С	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600	600—700	700—800	800—900
$\alpha \cdot 10^6$ 1/*град*	12,9	14,0	14,5	15,2	16,5	17,3	17,0	18,1

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	25	100	200	300	400	500	600	700	800	900
λ *вт/м · град*	9,40	10,4	12,1	13,8	15,9	17,6	18,8	21,1	21,8	23,0

Коррозионная стойкость

Паяные соединения коррозионностойки в агрессивных средах и морской воде.

Технологические данные

Пайку производят в среде нейтральных газов (аргон, гелий или аргон с продуктами распада NH_4BF_4 или KBF_4), а также в вакууме с нагревом в печи или токами высокой частоты. Температура пайки 1180—1200°C.

Припой пластичен и может изготовляться в виде фольги, листов, а также порошка и прутков; хорошо обрабатывается резанием.

Применение

Пайка деталей из коррозионностойких сталей, работающих в агрессивных средах и морской воде.

ПРИПОЙ ДЛЯ ПАЙКИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ	ВПр17 (ТР6-1009)

Химический состав в %

Ag	Zn	Ni	Mn	Co	Si	Nb	Cu	P	B	Примеси, не более
20—23	17—19	16—18	0,5—2,0	0,5—2,0	0,1—0,3	0,5—1,0	Остальное	0,1—0,2	0,1—0,2	0,5

Механические свойства паяных соединений при различных температурах

Паяемый материал (соединение внахлестку)	$\tau_{ср}$ [*кгс/мм²*] при температуре в °C			
	—20	20	500	600
Сталь ВНС-2	40—50	35—44,5	20—24	11—13

Физические свойства

Плотность 8900 *кг/м³*.

Температура плавления 950—990°C.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—600
$\alpha \cdot 10^6$ 1/*град*	18,6

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	25	100	200	300	400	500	600
λ *вт/м · град*	41,9	44,0	46,0	50,2	54,4	58,6	62,8

Коррозионная стойкость

Паяные соединения коррозионностойки в условиях промышленной атмосферы и тропиков; в морских условиях требуется их защита лакокрасочными покрытиями.

Технологические данные

Пайку производят при нагреве в печи, токами высокой частоты, в среде нейтральных газов (аргон, гелий) или пламенем ацетилено-кислородной горелки с использованием флюсов № 200 и № 201.

Температура пайки 1050—1080°С.

Применение

Пайка деталей из коррозионностойких высокопрочных сталей.

ФЛЮСЫ ДЛЯ ПАЙКИ МЕТАЛЛОВ

Марка	Состав в %	ГОСТ, ТУ или ТР	Рабочая температура °С	Технологические данные (приготовление и способ удаления остатков флюсов)	Назначение
Флюс 1	Цинк хлористый (плавленый) 25—40 Вода 75—60	ТР6-1011	290—350	Цинк хлористый растворяют в воде (допускается содержание свободной соляной кислоты в пределах 0,6—0,8%) После пайки во избежание коррозии остатки флюса удаляют промывкой в горячем водном растворе 2%-ной соляной кислоты, в 5%-ном растворе стиральной соды и опять в проточной воде (50—80°С)	Пайка конструкционных сталей, меди и медных сплавов
Флюс 2	Цинк хлористый 18 Аммоний хлористый 6 Вода 76	ТР6-1011	180—320	Цинк хлористый и аммоний хлористый растворяют в воде (допускается содержание свободной соляной кислоты в пределах 0,6—0,9%) Способ удаления флюса такой же, как и для флюса 1	Пайка конструкционных сталей, меди и медных сплавов
Флюс 3	Цинк хлористый 25 Кислота соляная (d=1,19) 25 Вода 50	ТР6-1011	130—350	Цинк хлористый растворяют в соляной кислоте и затем смешивают с водой Способ удаления флюса такой же, как и для флюса 1	Пайка конструкционных сталей, меди и медных сплавов
Флюс 5	Канифоль	ГОСТ 797—64	150—300	Канифоль применяют в порошке Остатки флюса можно не удалять	Пайка меди и латуни легкоплавкими припоями

Продолжение

Марка	Состав в %	ГОСТ, ТУ или ТР	Рабочая температура °С	Технологические данные (приготовление и способ удаления остатков флюсов)	Назначение
Флюс СК (КЭ, КС)	Спирт гидролизный * 70 Канифоль 30	ТР6-1011	150—300	Растертую канифоль растворяют в спирте Остатки флюса не вызывают коррозии и их можно не удалять	Пайка меди, латуни, бронзы и стали. Поверхности должны быть предварительно обработаны более активным флюсом
Флюс ВТС	Кислота силициловая 10 г Триэтаноламин 10 г Вазелин технический 100 г Спирт гидролизный * 40 г	ТР6-1011	180—280	В фарфоровой посуде при непрерывном перемешивании нагревают вазелин и триэтаноламин до 75—85°С, в другой фарфоровой посуде растворяют силициловую кислоту в спирте. Полученный раствор тонкой струей вливают в смесь вазелина и триэтаноламина, непрерывно перемешивая и поддерживая в нагретом состоянии при 85—75°С до полного удаления запаха спирта. Затем температуру повышают до 110°С для удаления влаги; полное удаление определяют по прекращению образования пены Охлажденный флюс тщательно перемешивают и для получения однородной консистенции продавливают через шелковое или металлическое сито Остатки флюса удаляют путем протирки места пайки сухой ветошью или бязью, смоченной в смеси этилового спирта с бензином в соотношении 1 : 1	Пайка меди, бронзы и латуни
Флюс ЛМ-1	Спирт гидролизный * — 400 $см^3$ Кислота ортофосфорная (d=1,6—1,7) 100 $см^3$ Канифоль (в порошке) — 30 г	ТР6-1011	250—350	В одной части спирта (половина всего объема) растворяют канифоль, в другой — ортофосфорную кислоту, после чего оба раствора перемешивают Остатки флюса после пайки удаляют промывкой в горячей проточной воде или протиркой ветошью, смоченной в спирте или ацетоне	Пайка коррозионностойких сталей
Флюс ЛК2	Канифоль 30 Цинк хлористый 3 Аммоний хлористый 1 Спирт гидролизный * 66	ТР6-1011	196—350 (при медленном нагреве) 150—420 (при быстром нагреве)	Цинк хлористый и аммоний хлористый растворяют в спирте (в стеклянной посуде), вводят порциями канифоль при непрерывном помешивании до растворения всех компонентов. После отстаивания в течение суток сливают жидкий раствор, используя его в качестве флюса Остатки флюса удаляют промывкой в ацетоне или спирте (лучше в ацетоне) сразу же после пайки	Пайка меди, медных сплавов, конструкционных сталей и оцинкованного железа
Флюс ЛТИ 120	Спирт гидролизный 68 Канифоль 25 Диэтиламин солянокислый 5 Триэтаноламин 2	ТР6-1011	200—350	В 3/4 общего объема спирта растворяют канифоль, а в остальном спирте — диэтиламин солянокислый. В первый раствор вводят триэтаноламин. На другой день оба раствора перемешивают Остатки флюса удаляют промывкой в спирте или ацетоне сразу же после пайки	Пайка меди, медных сплавов, конструкционных сталей и оцинкованного железа

* ГОСТ 17299—71.

Продолжение

Марка	Состав в %	ГОСТ, ТУ или ТР	Рабочая температура °С	Технологические данные (приготовление и способ удаления остатков флюсов)	Назначение
5%-ный гидразин	Гидразин солянокислый 5 Вода дистиллированная 95	ТР6-1011	150—330	Солянокислый гидразин растворяют в дистиллированной воде Флюс удаляют промывкой в холодной проточной воде	Лужение и пайка меди и ее сплавов
Флюс ФИМ	Кислота ортофосфорная (плотность 1,7) 20 $см^3$ Спирт гидролизный * 1 *л* Вода дистиллированная 1 *л*	ТР6-1011	260—320	Ортофосфорную кислоту смешивают с водой и спиртом Остатки флюса удаляют промывкой в проточной воде, протиркой сухой ветошью и сушкой при 100—110°С	Пайка меди, бронзы и латуни
Флюс Ф38Н	Диэтиламин солянокислый 25 Кислота ортофосфорная 25 Глицерин или этиленгликоль 50	ТР6-1011	До 350	Диэтиламин растворяют в ортофосфорной кислоте и затем смешивают с глицерином или этиленгликолем Остатки флюса удаляют промывкой в горячей проточной воде, протирают ветошью сухой и смоченной в спирте	Пайка нихрома, коррозионностойких сталей и соединение этих металлов с медью и ее сплавами
Флюс Ф55 (Г-2)	Гидразин солянокислый 2 Этиленгликоль 30 Гидразин-гидрат до нейтральной реакции 1 Спирт гидролизный * 67	ТР6-1011	150—330	Гидразин солянокислый растворяют в спирте и к раствору добавляют этиленгликоль и гидразин-гидрат Остатки флюса удаляют путем промывки в горячей проточной воде, протирки ветошью и сушки при 100—110°С	Лужение и пайка меди и ее сплавов
Флюс 18В	Кислота борная 60 Калий фтористый 40	Инструкция НИАТ ПИ-106-66	650—800	Компоненты сплавляют в фарфоровой чашке с последующим размельчением в порошок Остатки флюса удаляют путем кипячения в течение 3—5 *час* в водном 8%-ном растворе кальцинированной соды	Пайка коррозионностойких сталей и бериллиевой бронзы серебряными припоями
Флюс 209	Ангидрид борный 35±2 Калий борфтористый 23±2 Калий фтористый 42±2	ТУ48-4-323-75	До 750	Компоненты смешивают и смесь размалывают в порошок Остатки флюса удаляют кипячением в течение 3—5 *час* в водном 8%-ном растворе кальцинированной соды	Пайка коррозионностойких сталей, никелевых сплавов, меди и ее сплавов
Флюс № 200	Кислота борная 70±2 Бура 21±2 Кальций фтористый 9±1 или в пересчете на обезвоженные компоненты: Ангидрид борный 66±2 Бура плавленая 19±2 Кальций фтористый 15±2	СТУ 38-399-65	800—1200	Компоненты смешивают и смесь размалывают в порошок Остатки флюса удаляют путем погружения на 40—60 *мин* в водный 7—12%-ный раствор кислого сернокислого калия при комнатной температуре или на 15—20 *мин* при 40—50°С	Пайка коррозионностойких сталей и жаропрочных сплавов

* ГОСТ 17299—71.

Продолжение

Марка	Состав в %	ГОСТ, ТУ или ТР	Рабочая температура °С	Технологические данные (приготовление и способ удаления остатков флюсов)	Назначение
Флюс № 201*	Кислота борная 80±1 Бура 14±1 Кальций фтористый 5,5±0,5 Лигатура состава (4% Mg, 48% Al, 48% Cu) 0,5±0,1	СТУ 38-400-65	800—1200	Способ приготовления такой же, как и для флюса 200 Флюс после пайки удаляют погружением на 40—60 *мин* в водный 7—12%-ный раствор кислого сернокислого калия при комнатной температуре или на 15—20 *мин* при 40—50°С	Пайка коррозионностойких и жаропрочных сталей
Флюс 34А	Натрий фтористый 10 Цинк фтористый 8 Литий хлористый 32 Калий хлористый 50	ТУ 48-4-229-72	450—600	Флюс изготовляется путем смешивания обезвоженных солей Остатки флюса удаляют промывкой в горячей проточной воде	Пайка алюминия и его сплавов
Флюс ВФ11	Натрий хлористый 20±2 Калий хлористый 35±2 Литий хлористый 10±1 Кальций хлористый 25±2 Калий фтористый 10±1	ТУ 48-02-57-71	600—620	Температура плавления флюса 540—560°С Остатки флюса удаляют промывкой в горячей проточной воде	Пайка алюминия и его сплавов в соляных ваннах

* Состав в пересчете на обезвоженные компоненты (в %): ангидрид борный — 77±1; бура плавленая — 12±1; кальций фтористый — 10±0,5; лигатура Al—Cu—Mg — 1±0,5.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

СПРАВОЧНИК «АВИАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ»

Том 6. Медные сплавы и специальные материалы для деталей трения, припои

Техн. ред. *Р. И. Конзаева* Корректор *Т. Б. Евдокимова*
Художник *Ю. Е. Латынин*

Подписано в печать 12/XI 1974 г. Формат $60 \times 90^1/_{16}$ Объем 17,75
Цена 2 руб. 50 коп. Рассылается по списку Заказ 1345

Типография МАП

2[illegible]

Гл[illegible]

